

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra informatiky

Měření kvality obrazu a video signálů

Image Quality and Video Signals Measurement

Zadání bakalářské práce

Student:

Martin Chlebek

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Měření kvality obrazu a video signálů
Image Quality and Video Signals Measurement

Zásady pro vypracování:

Tato práce se zabývá problematikou IPTV (Internet Protocol Television) v rámci služby Triple Play pasivních optických sítí. Cílem této práce je analyzovat vliv parametrů sítě GePON v konfiguraci PON/P2P na kvalitu IPTV. Měření bude prováděno pomocí zvolených objektivních metod (PSNR, SSIM) a analyzátoru IxChariot.

1. Popište subjektivní a objektivní metody měření kvality obrazu a video signálu.
2. Vytvořte na bázi optické přístupové sítě GePON přenos video signálu v rámci služby Triple Play.
3. Na základě vytvořených testovacích sekvencí proveďte zvolenými objektivními metodami (PSNR, SSIM) analýzu kvality obrazu a video signálu vzhledem k parametrům GePON (přenosové rychlosti, struktura sítě, atd.).

Seznam doporučené odborné literatury:

BRILLANT, Avigdor. Digital and Analog Fiber Optic communications for CATV and FTTx applications. Hoboken, New Jersey 07030: John Wiley & Sonc, Inc., 2008. 1055 s. ISBN 978-0-8194-6757-7.

LAM, Cedric. Passive Optical Networks: Principles and practice. Oxford: Elsevier Inc., 2007. 324 s. ISBN 978-0-12-373853-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Koudelka**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky zdroje informácií a použitú literatúru, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa

.....
(podpis autora)

PodĎakovanie

Ďakujem vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Petrovi Koudelkovi a konzultantom Ing. Karlovi Tomalovi a Ing. Filipovi Řezačovi za odbornú pomoc a poskytnuté rady. Za poskytnuté informácie ďakujem firme Naši.cz a pánovi Martinovi Valčakovi z firmy Slovak Telekom a.s..

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou IPTV v rámci služby Triple Play pasívnych optických sietí. V prvej časti sú popísané vlastnosti optických prístupových sietí a ich rozdelenie do jednotlivých skupín podľa spôsobu komunikácií. V ďalšej časti sa venujem službe Triple Play, ktorá ponúka služby IPTV, VoIP a Internet. Podrobnejšie sa venujem službe IPTV na ktorú som robil meranie kvality pomocou analyzátoru IxChariot, ktorý mi IPTV službu simuloval. Ďalšie meranie bolo zamerané na vyhodnotenie kvality obrazu a video signálu pomocou objektívnych metód PSNR a SSIM. Objektívne meranie bolo zamerané na porovnávanie streamovaných videí s originálnym videom. Na porovnávanie som použil voľne šíriteľný program MSU Video Quality. Všetky merania som realizoval na GePON sietí, ktorú som pripravil a nakonfiguroval.

Kľúčové slová

Optická prístupová sieť, optické vlákno, Point-to-Point, AON, PON, EPON, GePON, optická distribučná sieť, Triple Play, VLC, IPTV, IxChariot, OLT, ONU, meranie kvality IPTV, PSNR, SSIM

Abstract

Bachelor's thesis is describing IPTV within Triple Play services in passive optical networks. In the first part properties and division of optical access network considering way of communication are described. Triple play service offering IPTV, VoIP and broadband Internet access is described in the next part. IPTV service details and measures using IxChariot are contained in the 3rd part. IxChariot was used here for simulation of IPTV transmission. Next measurment was about evaluation of video service quality. This was done by using PSNR and SSIM objective methods. Objective measurement was specialized on comparing streamed videos with original video sample. I have used freeware software called MSU Video Quality for comparing. All measurements were done on GePON network prepared and configured by myself.

Key word

Optical Access Network, optical fiber, Point-to-Point, AON, PON, EPON, GePON, Optical Distribution Network, Triple Play, VLC, IxChariot, OLT, ONU, IPTV quality measurment, PSNR, SSIM

Zoznam skratiek

10GPON	pasívna optická sieť s prenosovou rýchlosťou 10 Gbit/s
APC	konektor so šikmou úpravou zakončenia optického vlákna
APON	pasívna optická sieť založená na ATM
ATM	asynchrónny prenos dát
BPON	širokopásmová pasívna optická sieť
CSMA/CD	protokol pre prístup k prenosovému médiu
DHCP	protokol obstarávajúci pridelovanie IP adries koncovým zariadeniam
DVB	digitálne vysielanie TV vysielania
EPON	pasívna optická sieť na baze Ethernetu
GePON	pasívna optická sieť na baze Gigabit Ethernet
GPON	pasívna optická sieť s prenosovou rýchlosťou 1 Gbit/s
HDTV	televízia vo vysokom rozlíšení
IPTV	televízne vysielanie prenášané pomocou IP siete
ITU	medzinárodná telekomunikačná únia
MFD	vyjadrenie rozloženia intenzity žiarenia
MPEG	skupina vyvíjajúca štandardy na kódovanie audiovizuálnych formátov
ODN	optická distribučná sieť
P2MP	komunikácie jedného bodu s viacerými bodmi
P2P	komunikácia bod-bod
PLC	výroba pasívnych optických rozbočovačov pomocou planárnej technológie
PON	pasívna optická sieť
PSNR	pomer medzi maximálnym signálom a šumom
QoS	Quality of Service, rezervácia a riadenie dátových tokov
RTCP	protokol pre riadenie RTP relácií na základe sledovania kvality toku
SDTV	televízia s rozlíšením splňujúca normy
SPC	spôsob úpravy zakončenia optického vlákna v konektore
SSIM	index vyjadrujúci podobnosť dvoch obrazov
VLC	multimediálny prehrávač
VoD	systém umožňujúci sledovať a video na vyžiadanie
VoIP	služba pre prenos hlasu a zvuku v IP sieťach
VoIP	systém umožňujúci prenos digitálneho hlasu
WDM	multiplexovanie podľa vlnovej dĺžky
WDM-PON	pasívna optická sieť používajúca WDM technológiu
XG-EPON	pasívna optická prístupová sieť na baze Ethernetu s prenosovými rýchlosťami 10 Gbit/s

Obsah

1	ÚVOD.....	11
2	OPTICKÉ PRÍSTUPOVÉ SIETE.....	12
3	HLAVNÉ KOMPONENTY	13
3.1	OPTICKÉ VLÁKNO.....	13
3.1.1	Jednovidové optické vlákna	13
3.1.2	Mnohovidové optické vlákna.....	16
3.2	OPTICKÉ KONEKTORY	16
3.3	OLT.....	17
3.4	ODN.....	17
3.5	ONU	17
3.6	PASÍVNE OPTICKÉ ROZBOČOVAČE.....	17
4	TECHNOLÓGIA FTTX	18
4.1	SIETE POINT-TO-POINT (P2P).....	19
4.2	SIETE POINT-TO-MULTIPOINT (P2MP).....	20
4.3	PASIVNÁ OPTICKÁ SIEŤ PON.....	20
4.3.1	ATM-PON (APON).....	21
4.3.2	Broadband PON (BPON).....	22
4.3.3	Ethernet PON (EPON).....	22
4.3.4	GPON.....	22
4.3.5	10GEPON	23
4.3.6	XG-PON.....	23
4.3.7	WDM-PON	23
4.4	AKTÍVNA OPTICKÁ SIEŤ AON	24
5	TRIPLE - PLAY.....	25
5.1	DÁTOVÉ SLUŽBY	25
5.2	VOICE OVER IP VoIP.....	25
5.2.1	Požiadavky na prenos paketov vo VoIP	26
5.3	IPTV.....	27
5.3.1	Video-on-Demand.....	27
5.4	KVALITA SLUŽIEB QoS	27
5.5	METÓDY HODNOTENIA KVALITY OBRAZU A VIDEO SIGNÁLU.....	28
5.5.1	Subjektívne meranie kvality.....	28
5.5.2	Objektívne meranie kvality	29
6	ŠTRUKTÚRA IPTV	32
6.1	POUŽÍVANÉ PROTOKOLY PRE PRENOS VIDEO TOKU V IPTV	33
6.1.1	IGMPv2.....	33
6.1.2	IGMPv3.....	34
6.1.3	UDP.....	34
6.1.4	RTP	34
6.1.5	RTSP	36

6.2	KODEKY V IPTV	36
6.2.1	MPEG-2/H.262	36
6.2.2	MPEG-4 AVC/H.264	36
6.2.3	MPEG TS	37
7	VIDEOLAN	38
7.1	VLC MEDIA PLAYER	38
7.1.1	Prenos videa typu unicast	38
7.1.2	Prenos videa typu broadcast	38
7.1.3	Prenos videa typu multicast	39
8	MERANIE KVALITY IPTV	40
8.1	KONFIGURÁCIA DHCP SERVERU	40
8.2	KONFIGURÁCIA OLT	41
8.3	KONFIGURÁCIA P2P SIETE	44
8.4	KONFIGURÁCIA P2MP SIETE	45
8.4.1	Konfigurácia siete GePON	45
8.5	MERANIE PARAMETROV V GEAPON TOPOLOGIACH	45
8.6	MERANIE KVALITY IPTV POMOCOU ANALYZÁTORA IXCHARIOT	46
8.6.1	Konfigurácia QoS na OLT zariadení	47
8.6.2	Namerané výsledky analyzátoru IxChariot vplyvu QoS	47
8.7	OBJEKTÍVNE MERANIE KVALITY OBRAZU A VIDEO SIGNÁLU	50
8.7.1	Výber video sekvencie	50
8.7.2	Tvorba testovacej sekvencie a výber metód	50
8.7.3	Postup objektívneho merania	51
8.7.4	Vyhodnotenie nameraných výsledkov	51
9	ZÁVER.....	53
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	54
	ZOZNAM PRÍLOH.....	56

Zoznam ilustrácií

<i>Obr. 1: Základné rozdelenie optickej prístupovej siete.</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2: Riešenie FTTx.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3: Optická prístupová sieť point-to-point p2p. [9]</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4: Optická prístupová sieť point-to-multipoint p2mp. [9]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 5: Pasívna optická sieť.</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 6: Hierarchia protokolov VoIP. [3]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 7: Stupnica kvality používaná u metódy DSCQS. [19]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 8: Usporiadanie siete IPTV. [20]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 9: Zapúzdrenie. [2].....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 10: Štruktúra RTP paketu.</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 11: Schéma zapojenia siete.</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 12: Pohľad na iMAP9102.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 13: Nastavenie aplikácie HyperTerminál.</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 14: Prihlásenie do konfiguračného režimu OLT.</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 15: Výpis z príkazu show card.</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 16: Výpis z príkazu show interface 1.1.</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 17: Výpis príkazu show interface mgmt.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 18: Topológie použité pri meraní.</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 19: Topológia simulovanej trasy.</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 20: Graf priemernej priepustnosti IPTV.</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 21: Graf priemerného Delay Factoru v IPTV.</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 22: Graf strátovosti paketov na kvalite IPTV.</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 23: Postupnosť pri meraní objektívnej kvality.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 24: Testovacia video sekvencia.</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 25: Nastavenie streamovanie na vlc servery.</i>	<i>51</i>

Zoznam tabuliek

<i>Tab. 1: Hodnoty optického vlákna ITU-T G.652. [12]</i>	14
<i>Tab. 2: Hodnoty optického vlákna ITU-T G.655 a G.656. [13] [14]</i>	14
<i>Tab. 3: Hodnoty optického vlákna ITU-T G.657. [15]</i>	15
<i>Tab. 4: Hodnoty makro - ohybov optického vlákna ITU-T G.657. [15]</i>	15
<i>Tab. 5: Hodnoty multimodových optických vlákien. [1]</i>	16
<i>Tab. 6: Parametre optických konektorov.</i>	16
<i>Tab. 7: Hlavné PON technológie a ich charakteristiky.</i>	21
<i>Tab. 8: Bodová stupnica kvality.</i>	28
<i>Tab. 9: Prenos digitálnej televízie.</i>	32
<i>Tab. 10: Výsledky merania vplyvu QoS na kvalitu IPTV.</i>	48
<i>Tab. 11: Parametre testovacej video sekvencie.</i>	50
<i>Tab. 12: Parametre merania SSIM a PSNR.</i>	52

1 ÚVOD

Ako tému, pre svoju bakalársku prácu som si zvolil optické prístupové siete. Myslím, že táto témou má zmysel sa zaoberať, keďže žijeme v dobe, keď sa na trhu objavuje stále viac poskytovateľov internetových služieb. Preto vznikajú aj nové technológie v prístupových sieťach.

V práci sa konkrétne zaoberám problematikou IPTV, v rámci služby Triple-play. Táto služba prenáša video, hlas a internet v jednom balíku. Niekomu sa môže zdať, že je zbytočné platiť za niečo, čo nepoužívame. Vieme však, že bez televízie sa nezaobídeme a rovnako tak už ani bez internetu, pevnú linku nahradil mobilný telefón. Dnes sme veľmi pohodlní, chceme mať všetko, ale chceme kvalitu. Preto je tu IPTV, služba, ktorá ponúka kvalitné video formáty vo vysokom rozlíšení, vysokú prenosovú rýchlosť dát a telefón má lepšiu kvalitu hlasu.

Bakalársku prácu som rozdelil na dve hlavné časti. V prvej sa venujem teoretickým východiskám zvolenej problematiky. V druhej časti meriam kvalitu služby IPTV a objektívnymi metódami kvalitu obrazu a video signálu. Meranie kvality IPTV služby je realizované pomocou analyzátoru IxChariot, ktorý nasimuluje službu IPTV na topológiach. Meranie kvality obrazu a video signálu je zrealizované pomocou programu, ktorý porovnáva videa pomocou objektívnych metód. Všetky namerané hodnoty uvádzam v priloženej prílohe.

Cieľom tejto práce je problematika IPTV v rámci služby Triple-play v pasívnych optických prístupových sieťach a analyzovať vplyv parametrov siete GE-PON v konfigurácii PON a P2P.

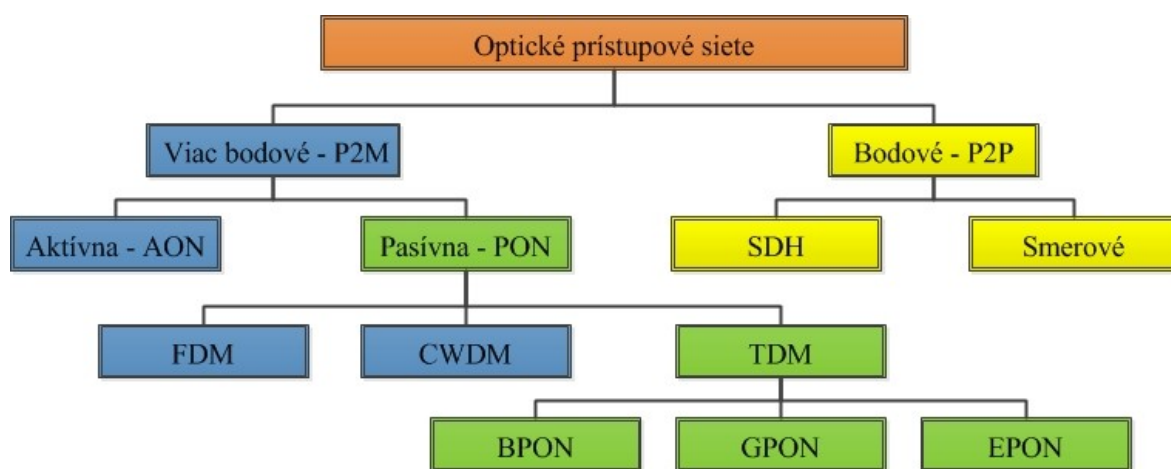
2 OPTICKÉ PRÍSTUPOVÉ SIETE

V minulých desaťročiach sme boli svedkami rýchleho rozvoja globálnej komunikačnej infraštruktúry a rýchleho rastu Internetu, sprevádzané rastúcim počtom jeho užívateľov. Najnáročnejšou časťou súčasného rozvoja internetu je prístup k sieti. Tu sa nám vynára viacero otázok:

1. Ako pripojiť milióny používateľov k internetu, poskytovať rôzne služby, vrátane hlasovej, dátovej a videa.
2. Ako uspokojiť nároky na multimediálne aplikácie. Užívatelia vyžadujú širokopásmové pripojenie, flexibilný prístup a nižšie náklady.

Ak chceme poskytovať multimediálne služby do každej domácnosti a každému koncovému užívateľovi, optické prístupové siete by mali byť schopné podporovať celý rad aplikácií: hlasové, dátové a video služby.

Optické vlákna sú ideálnym médium pre vysokorýchlostné komunikačné systémy a siete, ale náklady sú vysoké. Avšak pre vysoké nároky užívateľov a pre rozvíjajúce aplikácie, šírka pásma medených médií dosiahla svoj limit. Tým sa pasívna optická sieť stáva atraktívnejším riešením. Pri implementácii technológií optických prístupových sietí treba venovať pozornosť jednotlivým komponentom. Optické prístupové siete sú budované v dvoch základných variantoch bod spojenie (Point to Point) a viacbodové spojenie (Point to Multipoint). Na obrázku 1 je znázornené rozdelenie optickej prístupovej siete.



Obr. 1: Základné rozdelenie optickej prístupovej siete.

3 HLAVNÉ KOMPONENTY

3.1 Optické vlákno

Optické prístupové vlákno sa odkazujú na technológie spojené z prenosových informácií, pomocou svetelných impulzov prenášaných v jadre. Optické vlákno je valcovitého tvaru z dielektrických materiálov ako je sklo alebo plast. Do jedného konca vlákna vchádza svetlo a druhým koncom vychádza. Optické vlákno prenáša oveľa viac informácií ako metalické médium a všeobecne nepodlieha elektromagnetickému rušeniu, pretože má vysokú šírku pásma a nízky útlm. Pre tieto vlastnosti, je optické vlákno využívané v optických prístupových sieťach na dlhé vzdialenosti. Optické vlákna vyžadujú viac ochrany, v rámci vonkajšej kabeláže sú spoľahlivejšie a majú dlhú životnosť.

Optické vlákno sa skladá z niekoľkých prvkov: jadro, náter buffer, ťahový a vonkajší plášť. Jadro je svetlo-nosný prvok v strede, obvykle sa skladá z kombinácie kremeňa a germánia. Plášť obklopuje jadro, je vyrobený z čistého oxidu kremičitého. Opláštenie má mierne nižší index lomu ako jadro. Nižší lom indexu spôsobuje, aby svetlo ostalo v jadre a neprešlo do plášťa. Existujú dva rôzne typy vlákien: jednovidové a mnohovidové optické vlákna. Mnohovidové vlákna majú priemer jadra 50 μm a 125 μm má priemer plášťa štandardizované ITU-T podľa G.651. Priemer jadra 62.5 μm a 125 μm priemer plášťa, používa sa v USA. Veľký priemer pomáha svetlu vstup a výstup z jadra. Jednovidové vlákna majú oveľa menší priemer jadra 9 μm a plášť 125 μm . Jedná sa o štandardy G.652, G.655, G.656 a G.657.

3.1.1 Jednovidové optické vlákna

Jednovidové optické vlákno má veľmi malý priemer jadra ale veľmi vysokú rýchlosť prenosu dát až 10 Gbit/s. Nevyskytuje sa u nich vidová disperzia, iba chromatická a polarizačná vidová disperzia. Prenáša iba jeden jediný svetelný lúč. Pre svoje vynikajúce vlastnosti sú jednovidové vlákna využívané aj pre rozsiahle siete a metropolitné siete. Milión kilometrov vlákna bolo natiahnutého na celom svete pod morom alebo vzduchom. Pasívne optické prístupové siete používajú jednovidové vlákna na vysokú rýchlosť prenosu dát a na dlhé vzdialenosti až 20 km.

3.1.1.1 G.652.A, G.652.B, G.652.C, G.652.D

G.652 režim opisuje jednovidové optické vlákno ktoré má nulovú disperziu vlnovej dĺžky okolo 1310 nm a ktorý je optimalizovaný pre použitie v 1310 nm vlnovej dĺžky a ktorý môže byť tiež v oblasti 1550 nm (ale toto vlákno nie je optimalizované). Obidva analógový aj digitálny prenos môžu byť použité týmto vláknom.

V nasledujúcej tabuľke sú zahrnuté odporúčané hodnoty pre kategórie optického vlákna G.652, ktoré spĺňajú ciele tohto odporúčenia. Tieto kategórie sú A, B, C a D, do značnej miere sú rozlišované na základe požiadaviek PMD.

Tab. 1: Hodnoty optického vlákna ITU-T G.652. [12]

Parameter	ITU-T G.652			
	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D
MFD - 1310 nm [μm]	8,6 - 9,5	8,6 - 9,5	8,6 - 9,5	8,6 - 9,5
Polomer makro-ohybu [mm]	30	30	30	30
Koef. útlmu 1310 nm [dB/km]	0,5	0,4	0,4	0,4
Koef. útlmu 1550 nm [dB/km]	0,4	0,35	0,3	0,3
Nulová chromatická disperzia [nm]	1300-1324	1300-1324	1300-1324	1300-1324
Max. počet ohybov	100	100	100	100
PMD [$\text{ps}\sqrt{\text{km}}$]	0,5	0,2	0,5	0,2

3.1.1.2 G.655, G.656

G.655 toto odporúčanie opisuje jednovidové optické vlákna s koeficientom chromatickej disperzie a posunutou nenulovou hodnotou v celej vlnovej dĺžky viac ako 1530 nm. Táto disperzia znižuje rast nelineárne efekty, ktoré môžu byť obzvlášť škodlivé v systéme DWDM. Pri nižších vlnových dĺžkach, disperzný koeficient môže prechádzať nulou, ale v týchto vlnových dĺžkach môže byť určený na podporu CWDM systému, ktoré nemajú významne poškodenie v dôsledku nelineárnych účinkov. Tieto vlákna boli pôvodne určené na používanie pri vlnových dĺžkach v predpisanej oblasti medzi 1530 nm a 1565 nm. Boli prijaté opatrenia na podporu prenosu vyšších vlnových dĺžok až do 1625 nm a nižšej vlnovej dĺžky do 1460 nm. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené kategórie A, B, C, D, E optického vlákna G.655 s ich parametrami. G.655. A, B z roku 2003 a C, D, E z roku 2009

G.656 toto odporúčanie je podobné ako G.655, ktoré ma optické vlákna s chromatickou disperziou väčšou ako nenulové hodnoty v celom rozsahu vlnových dĺžok 1460 – 1625 nm.

Tab. 2: Hodnoty optického vlákna ITU-T G.655 a G.656. [13] [14]

Parameter	ITU-T G.655 a G.656					
	G.655.A	G.655.B	G.655.C	G.655.D	G.655.E	G.656
MFD- 1550 nm [μm]	8 – 11	8 – 11	8 – 11	8 – 11	8 – 11	7-11
Polomer makro - ohybu [mm]	30	30	30	30	30	30
Koef. útlmu 1550 nm [dB/km]	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Koef. útlmu 1625 nm [dB/km]		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Max. počet ohybov	100	100	100	100	100	100
PMD [$\text{ps}\sqrt{\text{km}}$]	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2

3.1.1.3 G.657A, G.657B

Štandardizačná komisia pri medzinárodnej telekomunikačnej únii ITU-T vydala v roku 2006 novú smernicu pre jednovidové optické vlákna. Táto norma s názvom *Characteristics of a Bending Loss Insensitive Single Mode Optical Fibre and Cable for the Access Network* popisuje základné geometrické, prenosové a mechanické parametre jednovidových optických vlákien so s níženou

citlivosťou na ohyb vlákna v optických prístupových sieťach. Odporúčenie ITU-T nesie číslo G.657 a obsahuje dve špecifikácie A a B:

- optické vlákna podľa špecifikácie A, majú geometrické, mechanické a prenosové parametre rovnaké s jednoividovými optickými vláknami podľa ITU-T G.652.D špecifikácie s jednou výnimkou tzv. makro - ohybových strát. Tieto straty, norma definuje v špecifikácii A pre polomer ohybu 15 a 10 mm na dvoch vlnových dĺžkach 1550 a 1625 nm. [4]
- optické vlákna podľa špecifikácie B majú opäť geometrické a mechanické parametre rovnaké s jednoividovými optickými vláknami podľa ITU-T G.652.D špecifikácie. Chromatická disperzia a polarizačná vidová disperzia nie sú u tejto špecifikácii definované. Dôvod je to, že vlákna sú nasadzované na pomerne krátke vzdialenosti. [4]

V nižšie uvedenej tabuľke sú uvedené základné parametre optických vlákien pre špecifikáciu G.657 A a B.

Tab. 3: Hodnoty optického vlákna ITU-T G.657. [15]

Parameter	ITU-T G.657	
	G.657.A	G.657.B
MFD- 1310 nm [μm]	8,6-9,5	6,3-9,5
Cut-off vlnová dĺžka [nm]	1260	1260
Koef. útlmu 1310 nm [dB/km]	0,4	0,5
Koef. útlmu 1550 nm [dB/km]	0,3	0,3
Koef. útlmu 1625 nm [dB/km]	0,4	0,3
Chromatická disperzia [nm]	1300-1324	TBD
PMD [$\text{ps}\sqrt{\text{km}}$]	0,2	TBD

Špecifikácie A a B sú rozdelené na podkategórie A1 a A2, B2 a B3 s rôznymi makro - ohybmi. Nasledujúca tabuľka obsahuje hodnoty makro - ohybových strát optických vlákien štandardu G.657.

Tab. 4: Hodnoty makro - ohybov optického vlákna ITU-T G.657. [15]

Parameter	ITU-T G.657										
	G.657.A						G.657.B				
	G.657.A1		G.657.A2			G.657.B2			G.657.B3		
Polomer [mm]	15	10	15	10	7,5	15	10	7,5	10	7,5	5
Počet závitov	10	1	10	1	1	10	1	1	1	1	1
Max. útlm na 1550 nm [dB/km]	0,25	0,75	0,03	0,1	0,5	0,03	0,1	0,5	0,03	0,08	0,15
Max. útlm na 1625 nm [dB/km]	1,0	1,5	0,1	0,2	1	0,1	0,2	1,0	0,1	0,25	0,45

3.1.2 Mnohovidové optické vlákna

Mnohovidové optické vlákno sa používa pre krátku prenosovú vzdialenosť pár kilometrov. Mnohovidové optické vlákna sú využívané aj pre malé siete ako v kanceláriách, budovách, zdravotníckych zariadeniach alebo v areály komplexu. Pre jeho veľký priemer jadra, môže mnohovidové vlákno prenášať viac svetelných lúčov, každý pod iným uhlom. Ich prenosová rýchlosť dát je 10 Mbit/s až 10 Gbit/s do vzdialenosti až 600 m. Mnohovidové vlákna sú opísané štandardom ISO 11801 triedy OM1, OM2, OM3 a OM4, ktoré je definované v TIA-492-VŠUP.

Tab. 5: Hodnoty multimodových optických vlákien. [1]

Parameter	Triedy štandardu ISO 11801			
	OM1	OM2	OM3	OM4
Priemer jadra [μm]	62,5	50	50	50
Min. šírka pásma pri 850 nm [MHz*km]	200	500	1500	3500
Min. šírka pásma pri 1300 nm [MHz*km]	500	500	500	500
Útlm na 850 nm [dB/km]	3,5	3,5	3,5	2,5
Útlm na 1300 nm [dB/km]	1,5	1,5	1,5	0,8

3.2 Optické konektory

Konektory slúžia na spájanie optických vlákien. Sú to jedine komponenty ktoré môžeme opakovane rozpojiť a spojiť. Hodnota vložného útlmu je 0,1 až 1 dB a spätný rozptyl sa hodnota pohybuje okolo -14 až 65 dB. [8] Celkový vložný útlm závisí na správnom vyhotovení konektora. Pri nesprávnom zhotovení konektora môže dosiahnuť útlm až 10 dB. Veľa druhov optických konektorov sú k dispozícii pre celý rad aplikácií. Ich použitie je v rozsahu od jednoduchých konektorov pre jednoduché použitie až po robustné konektory používané v rámci drsného prostredia ako je napr. oceán. Konektory sú k dispozícii v prevedení šrobovacie, zaskakovacie a zacvakávacie, ktoré používa najčastejšie PON. Konektory slúžia na spájanie dvoch káblov alebo pripojenie kábla do obvodu zariadenia. Konektor v ktorom tvar vlákna je leštený kolmo na os sa nazýva *straight-polished connector* (SPC). Ak chceme znížiť spätné odrazy konektora môže byť vlákno leštené pod miernym uhlom *angle-polished connector* (APC). Poznáme rôzne typy konektorov ktoré sa používajú pri odlišných technológiách. Najpoužívannejšie konektory v prístupových sieťach sú SC, FC, ST a LC. Konektory treba neustále čistiť špeciálnymi handričkami aby nedošlo k poškrabaniu feruli a tým aj k zvýšeniu útlmu. V tabuľke 6 sú uvedené niektoré vlastnosti optických konektorov.

Tab. 6: Parametre optických konektorov.

Parameter		Optické konektory			
		SC	FC	ST	LC
Priemer ferule [mm]		2,5	2,5	2,5	1,25
Spôsob uchytienia		zacvakávacie	šrobovacie	bajonet	zacvakávacie
Vložný útlm [dB]		0,35	0,2	0,4	0,2
Odrazový útlm	APC [dB]	65	65	50	65
	UPC [dB]	50	50		55

3.3 OLT

Optické linkové zakončenie je zariadenie, ktoré slúži ako koncový bod poskytovateľa služieb pasívnych optických sietí. OLT je umiestnené v centrále a riadi obojsmerný tok informácií cez ODN až 20 km. Zaisťuje funkcie sieťového rozhrania medzi prístupovou sieťou a sieťou telekomunikačných služieb. OLT ponúka dve hlavné funkcie:

- Vykonávať konverziu medzi elektrickými signálmi a optickými signálmi.
- Koordinuje multiplexing medzi zariadeniami na druhom konci siete.

3.4 ODN

Optická distribučná sieť ODN je prenosový systém medzi OLT a jednotlivými ONU jednotkami. Skladá sa z primárnej (transportnej) časti a sekundarnej (distribučnej) časti, vzájomne oddelených distribučným bodom DP. Podľa realizácie distribučného bodu optickej distribučnej siete delíme optické prístupové siete na:

- Pasívnu optickú prístupovú sieť PON (Passive Optical Network)
- Aktívnu optickú prístupovú sieť AON (Active Optical Network)

3.5 ONU

Optické ukončujúce jednotky zabezpečujú funkcie účastníckeho rozhrania medzi koncovými zariadeniami účastníkov a prístupovou sieťou. ONU je zvyčajne umiestnené v skrini na chodníku alebo v centralizovanom mieste v rámci kancelárie, v budove, atď. . ONU zariadenie musí byť pripravené k prostrediu do ktorého bude umiestnená. Musí vydržať veľké teploty, musí mať prístrešok pre vonkajšie použitie, vodoodolný a ďalším poveternostným podmienkam taktiež musí byť chránený pred vandalmi. Okrem toho tam musia byť lokálne zdroje energie pre prevádzkovanie zariadenia, spolu so záložnou bateriou. Od ONU k priestoru zákazníka môže byť vedený koaxiálny kábel, krútena dvojlinka, samostatné optické vlákno alebo bezdrôtové pripojenie.

3.6 Pasívne optické rozbočovače

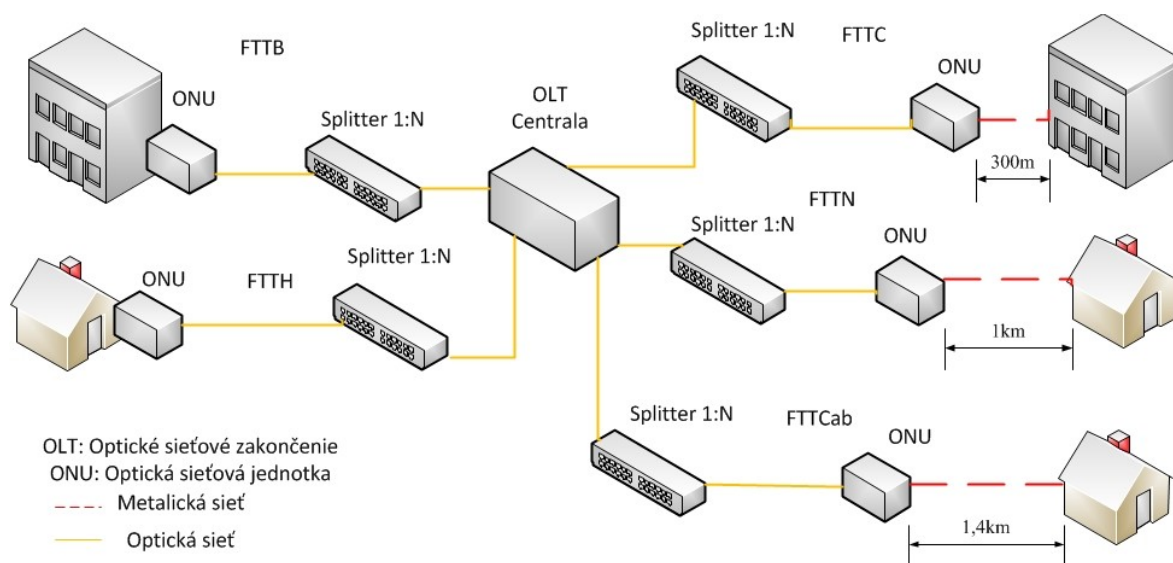
Toto zariadenie je kľúčovým prvkom pasívnych optických sietí pre distribúciu optických signálov pre zákazníkov. Pasívne optické rozbočovače môžu mať na vstupe jedno aj viac optických vlákien a rozdeliť ich medzi viaceré výstupy. Všetky vlnové dĺžky sa potom rozdelia v pomere 1:N na výstupe pasívnych optických rozbočovačov, kde N je počet výstupov. V praxi sa najčastejšie používajú v agregáčnom pomere 1:32 a počtom za sebou umiestnených by nemal prekročiť hodnotu 3 ale môže sa použiť aj viac. Činnosť týchto zariadení je recipročná, to znamená, že môžu fungovať ako optický rozbočovač, rozdeliť vstupné svetlo signálu do pomeru 1:N používané pri PON sieťach. Alebo ako zlučovač multiplex, kde viaceré vlákna zlučujú do jedného. Pri nových typoch PON, konkrétne GPON sieti sa už používajú pasívne optické rozbočovače v pomere 1:64.

4 TECHNOLÓGIA FTTx

Termín FTTx znamená v optických prístupových sieťach dostať vlákno do určitého bodu najbližšie k užívateľom. Kde x môže znamenať miesto ukončenia optickej prístupovej siete smerom k užívateľovi. Je to technológia využívajúca optické vedenia v kombinácii s metalickými alebo bezdrôtovou technológiou. Určená je pre pripojenie malých a stredných firiem a tiež domácich používateľov. FTTx je známa už vyše 10 rokov, nejde teda o novinku, odvtedy sa však zdokonaľuje. Pre používateľov môže poskytnúť rýchlosti od niekoľko Mbit/s až 100Mbit/s. Medzi FTTx sú používané nasledujúce skratky:

- Fiber-to-the-Perimes (FTTP) optické vlákno do areálu. Sa stal populárny všeobecný termín ktorý zahŕňa rôzne koncepty FTTx. Siete FTTP môžu používať BPON, EPON alebo GPON metodu,
- Fiber-to-the-Building (FTTB) optické vlákno do budovy. Optické vlákno z ústredne je ukončené v budove, kde sa pripájajú zákazníci pomocou metalického média alebo iným typom,
- Fiber-to-the-Node (FTTN) optické vlákno k uzlu. Architektúra podobná PON kde je ukončovacia jednotka umiestnená vo vzdialenosti od domov a podnikov 1 km. FTTN je schopné dodávať prenosovú rýchlosť 20 až 25 Mbit/s zákazníkovi, čo umožňuje súčasné poskytovanie služieb ako streamovanie TV programu, HDTV a prístup k internetu,
- Fiber-to-the-Home (FTTH) optické vlákno je zavedené až do domu zákazníka. Rozdiel medzi FTTB a FTTH je, že obvykle budovy požadujú väčšiu šírku pásma ako domáci užívatelia. V dôsledku toho si poskytovatelia žiadajú pokryť náklady pri FTTB ako pri FTTH,
- Fiber-to-the-Curb (FTTC) optické vlákno je ukončené pri obrubníku, odkiaľ sa pripájajú zákazníci pomocou medeného média alebo samostatným optickým káblom. Vzdialenosť od ONU jednotky ku kancelárii alebo domu je asi 300 metrov.
- Fiber-to-the-Cabinet (FTTCab) optické vlákno do rozvádzača. Odlišuje sa od FTTC podstatne len vo vzdialenosti umiestnenia ONU jednotky,
- Fiber-to-the-Office (FTTO) optické vlákno do kancelárie. Je to podobná technológia ako u FTTB. Optické vlákno je ukončené vo firme do ukončovacieho zariadenia, odkiaľ sa napájajú ostatní pracovníci pomocou medených médií alebo iným spôsobom.

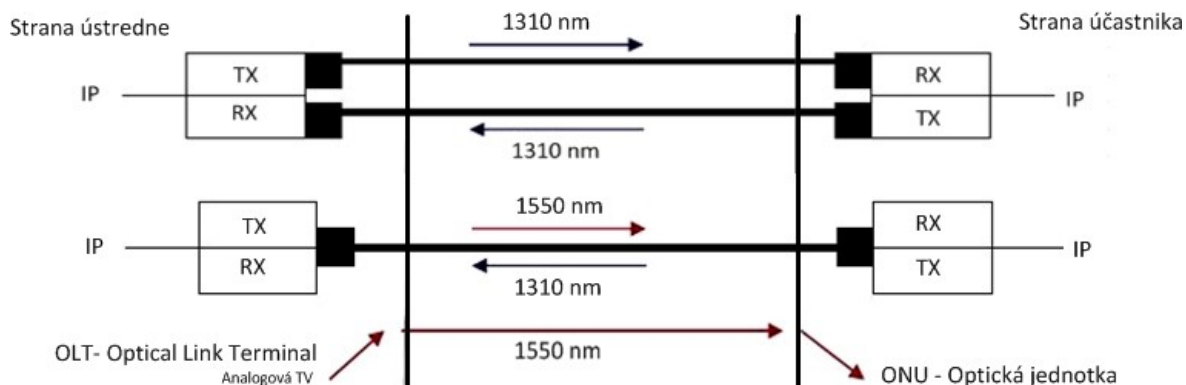
Zo všetkých týchto skratiek sa bežne používajú termíny FTTB, FTTH a FTTP. Pretože pre ne nie je taký problém s elektrickou energiou pri ONU jednotkách ako pri technológiách FTTC alebo FTTN, kde je vlastne problém dostať zdroj napätia. Na obrázku 2 sú znázornené technológie FTTx.



Obr. 2: Riešenie FTTx.

4.1 Siete Point-to-point (P2P)

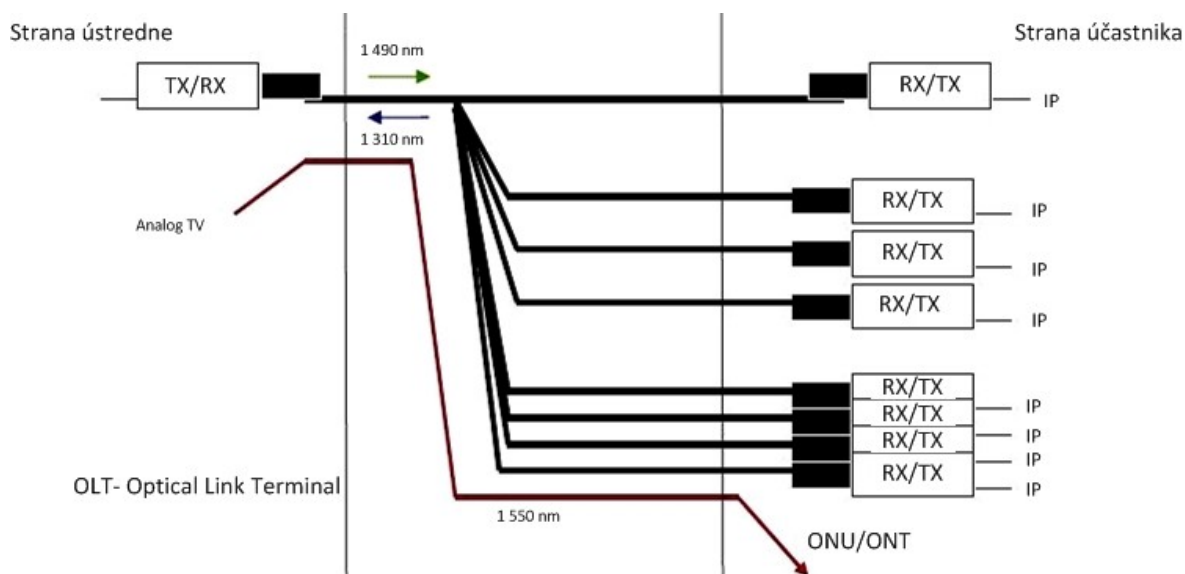
P2P sú charakterizované použitím jedného optického vlákna k užívateľovi. Jedná sa o najjednoduchšie FTTH siete. U P2P sietí platí to, že vlákno je ukončené u užívateľa a na druhej strane v centrálnej stanici kde je umiestnené OLT pre distribuovanie telekomunikačných služieb. Optické vlákno môže byť vedené z OLT priamo k užívateľovi alebo môže byť na trase umiestnené aktívny optický prepínač ktorý potrebuje napájanie táto sieť sa označuje ako aktívna. Aktívne siete umožňujú pripojenie užívateľov až do vzdialenosti 80 km. U P2P sieťach sa používajú jednovidové optické vlákna ojedinele sa môžu použiť mnohovidové optické vlákna. Pre simplexný prenos z OLT k ONU sa využíva vlnová dĺžka 1310 nm. Televízny signál sa prenáša po vlnovej dĺžke 1550 nm. Použitím duplexného prenosu sa využíva vlnová dĺžka 1310 nm pre obidva smery. Samostatné vlákno ku každému užívateľovi umožňuje poskytovať široké prenosové pásmo vhodné pre multimediálne dáta, jednoduchý servis siete a odlíšiteľnosť zákazníkov. Na obrázku 3 sú nakreslené príklady využívania vlnových dĺžok u P2P, kde TX je vysielateľ a RX prijímač.



Obr. 3: Optická prístupová sieť point-to-point p2p. [9]

4.2 Siete point-to-multipoint (P2MP)

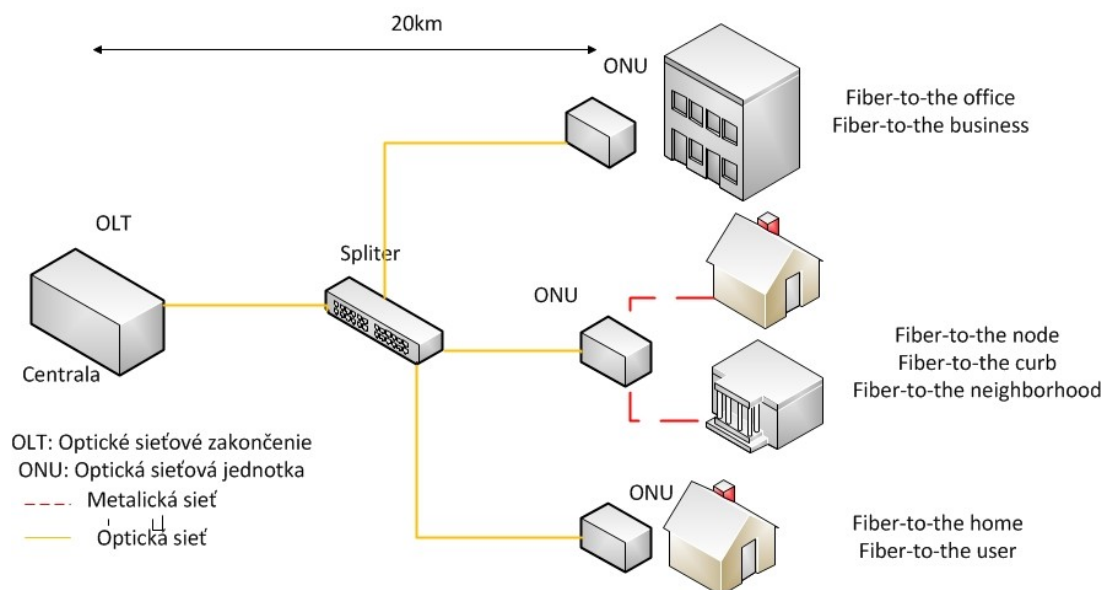
P2MP siete umožňujú znížiť počet vlákien medzi účastníkmi a ústredňou. Vytvorí obojsmerný komunikačný kanál po jednom vlákne. Môže sa vytvoriť komunikačný spektrálny multiplex. Poskytujú výhodu optického rozbočovania signálu k účastníkovi a optickému zlučovaniu signálov od účastníka v čisto optickej oblasti bez konverzie na elektrický signál. P2MP sieť je pasívna optická prístupová sieť, pretože využíva pasívne prvky ako optický pasívny rozbočovač. Na nasledujúcom obrázku 4 je znázornená topológia P2MP spolu s vlnovými dĺžkami pri komunikácii. [9]



Obr. 4: Optická prístupová sieť point-to-multipoint p2mp. [9]

4.3 Pasívna optická sieť PON

Obrázok 5 ilustruje architektúru PON sietí. Z názvu vyplýva, že tam nie je žiadne aktívne zariadenie medzi ústredňou a užívateľom. Prítomnosť iba pasívnych prvkov v sieti zaručuje relatívne väčšiu odolnosť voči chybám a teda k zníženiu prevádzkových a udržiavacích nákladov. Aktívne zariadenie je len v centrále. Z centrály vedie jednovidové optické vlákno cez pasívne optické rozbočovače v agregáčnom pomere 1:N. Na výstupne porty optických pasívnych rozbočovačov sa pripájajú k účastníkom individuálne jednovidové vlákna (distributívne vlákna). Prenosová vzdialenosť v pasívnych optických sieťach je obmedzená na 20 km ako je uvedené v súčasnej norme. Počet užívateľov v PON môže byť od 2 k 128, v závislosti na výkone siete. V centrále, OLT prenáša dáta pomocou vlnovej dĺžky 1490 nm smerom k účastníkom downstream a vysielanie videa posiela cez 1550 nm. Na konci optickej prístupovej siete je ONU jednotka, ktorá má upstream čiže vysielanie dát smerom k OLT na vlnovej dĺžke 1310 nm. Aby sa vyhlo kolízii upstream používa prístupový protokol TDMA pre každého užívateľa. Tento typ pasívnych optických sietí sa nazýva TDM. ONU jednotka môže byť umiestnená v domácnosti, kancelárii, rozvodni alebo inde.



Obr. 5: Pasívna optická sieť.

Existuje niekoľko alternatívnych systémov PON sietí, hlavné z nich sú ATM-PON (APON), širokopásmové prevedenie PON (BPON), Ethernet PON (EPON), Gigabit PON (GPON), WDM-PON, TDM-PON, atď.) V tabuľke 7 sú uvedené niektoré vlastnosti metód a štandardy ktoré sa dodržiavajú. Rozdiely medzi nimi spočívajú v prenosových protokoloch.

Tab. 7: Hlavné PON technológie a ich charakteristiky.

Charakteristika	Pasívna optická sieť		
	APON/BPON	EPON (typ 2)	GPON
Štandardy	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Protokol	ATM	Ethernet	ATM a Ethernet
Prenosová rýchlosť (Mbit/s)	622 / 1244 downstream, 155 alebo 622 upstream	1244 downstream, 1244 upstream	1244 alebo 2488 downstream, 155 až 2488 upstream
Veľkosť	20 km	10 km	20 km
Počet splitrov	32	16 nominálne, 32 povolené	64

Poznámka: V tabuľke je uvedená iba varianta EPON typ 2 (1000BASE-PX20), EPON typ 1 (1000BASE-PX10) dosah siete je 10 km a pripoží 16 užívateľov, ostatné parametre sú rovnaké, preto sa s touto variantou respektívne neráta.

4.3.1 ATM-PON (APON)

Vychádza zo špecifikácie podľa doporučenie ITU-T G.983.1. Základná architektúra je založená na prenose informácií pomocou buňkového systému ATM, s prenosovou rýchlosťou 155,52 Mbit/s. Optická distribučná sieť ponúka jednu alebo viac optických ciest medzi jedným optickým linkovým zakončením a jednou alebo viacej optickou ukončovacou jednotkou. Každá optická cesta

je definovaná medzi referenčnými bodmi S a R v špecifikácii vlnového okna. Downstream je smer prenosu signálu od OLT k ONU a naopak upstream je prenos od ONU k OLT. [17]

4.3.2 Broadband PON (BPON)

Jedná sa o rozšírenie APON o obojsmernú komunikáciu pomocou vlnového multiplexu. Úprava vychádza zo špecifikácie podľa doporučenia ITU-T G.983.3. Základná architektúra je opäť založená na prenose informácií pomocou bunkového systém ATM. Ako prenosové médium sa používa jedno alebo dve optické vlákna G.652. Vo vlnovom multiplexe sú použité vlnové dĺžky 1260 - 1360 nm pre upstream a 1480 - 1500 nm pre downstream. Ďalšie vlnové dĺžky, ktoré sa môžu voliteľne použiť sú v pásme od 1539 nm do 1565 nm. [17]

4.3.3 Ethernet PON (EPON)

EPON sa skladá zo súborov rovnakých stavebných prvkov, jedná sa teda o optickú distribučnú sieť obsahujúca pasívne prenosové časti (optické vlákna, konektory, zvary, spojky, pasívne optické rozbočovače a filtri), optické linkové zakončenie – OLT, optické sieťové zakončenie – ONT a optické sieťové jednotky – ONU. Z hľadiska topológie je najčastejším spôsobom rozvetvená stromová štruktúra, pre rozbočenie sietí a pripojenie väčšieho počtu užívateľov sa využívajú pasívne optické rozbočovače. Novšie generácie typu EPON už vznikli. Typ turbo EPON ponúka symetrické prenosové rýchlosti 2,5 Gbit/s na fyzickej vrstve však nie je štandardizovaný, vznikol pre potreby čínskeho trhu prístupových sietí a nebude v budúcnosti ani inde nasadzovaný. Priamym oficiálnym pokračovateľom ja varianta 10GEPON. [7]

Základné schéma prenosu v oboch smeroch je obdobná ako v prípade ostatných PON sietí, duplexná prevádzka je riešená použitím dvoch odlišných vlnových dĺžok pre oba smery prenosu. V zostupnom smere vysiela jednotka OLT kontinuálne časové multirámce, v ktorých sú vďaka použitiu časového multiplexu TDM zaradené príspevky pre jednotlivé koncové jednotky. Tieto multirámce sa vďaka pasívnym rozbočovačom dostávajú do všetkých koncových jednotiek ONU/ONT, kde je vybraná len časť určená danému koncovému užívateľovi. Začiatok multirámca je označený definovanou postupnosťou pre ľahšiu detekciu a odvodenie bitovej synchronizácie. Dátové jednotky v multirámci sú uložené vo formáte Ethernet rámcov s pozmeneným záhlavím a zabezpečujúcim poľom. [7]

4.3.4 GPON

Táto technológia vychádza zo štandardu ITU-T G.983.x. Pre prenos opäť využíva ATM bunky podobne ako BPON, ale taktiež môže použiť metódu GEM, ich prenos je založený na rámcoch premennej dĺžky. Vďaka zapuzdrovaniu GEM rámcov premennej dĺžky a ATM buniek spoločne vzniká nový štandard ITU-T G.984.1. GPON má podobné prenosové vlastnosti ako EPON sú však nekompatibilné. [17]

4.3.5 10GEPON

Pasívna optická prístupová sieť 10GEPON je založená rovnako ako predchádzajúca varianta EPON na prenose rámcov Ethernet, prináša však oproti pôvodnej generácii EPON zmeny v oblasti prenosových parametrov (zdieľaná prenosová rýchlosť, útlmové triedy, použité vlnové dĺžky, zabezpečenie). Zároveň však bola nová varianta vyvíjaná s požiadavkou na plné zachovanie spätnej kompatibility so staršou verziou EPON tak, aby bolo možné obidve varianty poskytovať v rámci jednej optickej distribučnej siete zároveň. Hlavným zámerom tejto myšlienky je úspora nákladov, kedy v prípade už vybudovaných a funkčných sietí EPON sa dá jednoduchou výmenou modulov na strane jednotky optického linkového zakončenia OLT v prípade jej modulárnej koncepcie ďalej poskytovať už fungujúcu sieť EPON a zároveň novým koncovým užívateľom, prípadne i starým výmenou ich optických sieťových jednotiek ONU, ponúknuť vyššiu prenosovú rýchlosť a ďalšie výhody novej varianty 10GEPON. Túto myšlienku sa podarilo do finálnej verzie doporučenia IEEE 802.3av 10GEPON úspešne implementovať a zaistiť tak plnou koexistenciou oboch variant. [7]

4.3.6 XG-PON

Podobne ako v prípade inštitútu IEEE a novo navrhutej generácie optickej siete 10GEPON, bola i v prípade únie ITU-T riešená pri vývoji PON siete s prenosovou rýchlosťou 10 Gbit/s otázka spätnej kompatibility tak, aby novo vytvorená varianta XG-PON bola spätne plne kompatibilná s predchádzajúcou generáciou GPON, čo by umožnilo ich vzájomnú koexistenciu a nasadenie v rámci spoločnej optickej distribučnej siete ODN. Ďalšou výhodou by taktiež bolo možnosť postupného prechodu na novšie varianty pasívnych optických sietí, bez nutnosti celkovej prestavby a úpravy už fungujúcej GPON optickej siete. Súčasne s novou variantou XG-PON, bola vypracovaná i koncepcia nadväzujúcich pasívnych optických sietí, ktoré tak boli rozdelené do dvoch smerov - NGA1 (Next Generation Access 1) a NGA2 (Next Generation Access 2). V rôznych literatúrach sa môžeme stretnúť rovnako s označením NG-PON1 a NG-PON2. Zatiaľ čo prvá vetva, kam spadá i predstavená varianta XG-PON rieši prioritne otázku spätnej kompatibility so stavajúcimi a predchádzajúcimi generáciami PON sietí a je založená iba na časovo zdieľanom prístupe k spoločnému optickému vláknu TDMA, pričom využitie vlnového multiplexovania sa počíta iba v obmedzenej miere, predpokladá sa v prípade vývojovej vetve NGA2 plná integrácia vlnového multiplexu WDM a vytvorenie hybridných WDM-TDMA PON prístupových sietí. Teoreticky navrhnutá varianta spadajúca do koncepcie NGA2 tak bude napríklad dosahovať zdieľaných prenosových rýchlostí až 40 Gbit/s (podľa súčasného plánu uvažovaný 4 vlnové dĺžky po 10 Gbit/s, alebo 40 vlnových dĺžok po 1 Gbit/s), ale za cenu úplne nového návrhu a koncepcie bez možnosti spätnej kompatibility s predchádzajúcimi generáciami siete. [7]

4.3.7 WDM-PON

WDM-PON siete umožňujú do jedného vlákna umiestniť väčší počet oddelených vlnových dĺžok pomocou vlnového multiplexovania WDM. Pomocou tejto technológie tým znásobia jeho celkovú kapacitu. Technológia WDM bola rozdelená na varianty CWDM a DWDM vlnového delenia podľa vzájomných odstupných dĺžok.

Vlnové delenie CWDM využíva väčšie odstupy kanálov a toleranciu vlnovej dĺžky. Pre štandardne jednovidové vlákno 9/125 μm je definovaných 18 kanálov [16] rozdelených do nasledujúcich pásiem.

- Pásmo O (Original) – vlnové dĺžky 1260-1360 nm, nosné číslo 1-5
- Pásmo E (Extended) – vlnové dĺžky 1360- 1460 nm, nosné číslo 6-10
- Pásmo S (Short) - vlnové dĺžky 1460- 1530 nm, nosné číslo 11-14
- Pásmo C (Conventional) - vlnové dĺžky 1530- 1565 nm, nosné číslo 15
- Pásmo L (Long) - vlnové dĺžky 1565- 1625 nm, nosné číslo 16-18

Varianta DWDM využíva menšie vzdialenosti medzi jednotlivými kanálmi a potrebuje podstatne nižšiu toleranciu vlnovej dĺžky. Tým pádom umožňuje v rovnakom pásme umiestniť väčší počet vlnových dĺžok, typicky 32, 64 a perspektívne až 96 v jednom uvažovanom pásme.

4.4 Aktívna optická sieť AON

Aktívna prístupová sieť tvorí základ tzv. hybridnej siete, pretože na optickú časť vyššej úrovne nadväzuje nižšia úroveň tvorená ďalšími technológiami (xDSL, CATV, radiové prostriedky). Hlavnou výhodou aktívnych prístupových sietí AON v porovnaní s pasívnymi optickými sieťami PON je možnosť zaistenie podstatne väčšieho dosahu, použitie väčšieho deliaceho pomeru v distribučných bodoch. Nevýhodou je nutnosť zaistenie napájania aktívnych sieťových prvkov použitých v distribučnej sieti. Z hľadiska minimalizácie nákladov na prevoznú údržbu sa preto javí výhodnejšie pasívna optická prístupová sieť PON. Aktívna optická sieť AON obsahuje aktívne sieťové prvky v podobe digitálneho prenosového zariadenia a býva realizovaná najčastejšie technikou SDH. [7]

5 TRIPLE - PLAY

Triple - play je služba, ktorá nám ponúka množstvo služieb ako prenos hlasu, videa a dát, prostredníctvom široko pásmového pripojenia. Rozšírenie a zavádzanie širokopásmových prístupových sietí pre účastníkov je revolúciou na poskytovanie hlasových a dátových služieb, taktiež poskytovanie video služieb, vrátane IPTV, video na vyžiadanie, video telefonovanie a hranie online hier. Inými slovami to znamená viac služieb, viac zariadení ale jedná sieť, jedného dodávateľa a jeden účet. Poskytovatelia služby triple - play pracujú na plný výkon zdokonaľiť svoje služby oproti ostatným konkurenciám. Nasadzujú nové prostriedky ale musia byť opatrní prijať všetky opatrenia ako test komponentov, test infraštruktúry a testovanie výkonnosti siete. Tento manéver je oveľa viac než len nový komerčný produkt. Jedná sa o dôsledok významných zmien ako sú technologické inovácie, spoločenské zmeny a nové predpisy. Tieto zmeny majú presvedčiť prevádzkovateľov k novému podnikaniu založené na novej jednotnej sieti, ktorá by mala byť schopná podporovať všetky typy telekomunikačných služieb.

5.1 Dátové služby

Internet je najrozšírenejšou službou ktorú je možné získať prostredníctvom širokopásmového pripojenia. V minulosti sa užívatelia pripájali do siete prostredníctvom klasickej alebo ISDN telefónnej linky tzv. „dial-up“ ktorá dosahovala rýchlosti 56 kbit/s respektívne 128 kbit/s. Dnes sa poskytujú neporovnateľne vyššie rýchlosti 100-násobne až 1000-násobne. Jedná sa o neustále pripojenie, ktoré sa nadviaže hneď pri spustení počítača alebo modemu ktorý sa prihlási do siete a aktivuje spojenie pokiaľ sa neodpojí alebo nevypne. Pripojenie cez xDSL, ale aj káblový modem alebo FTTX sa naplatí za dobu počas ktorej je spojenie aktívne, ale platí sa mesačný paušál.

5.2 Voice over IP VoIP

Voice over IP je určený len pre telefonovanie cez počítačovú sieť na báze internetového protokolu IP. V závislosti na tom ako a kde sa telefón používa, plní svoju funkciu ako IP telefonovanie, internetové telefonovanie a LAN telefonovanie niekedy aj DSL telefonovanie. Táto technika je vždy rovnaká a je označovaná ako Voice over IP. VoIP prevádza hlasový signál z telefónu na digitálny signál, ktorý môže cestovať cez internet. Ak voláte na štandardného operátora signál je potom prevedený späť na druhom konci. V závislosti na type služby VoIP, môžete vykonávať VoIP volania z počítača, špeciálneho VoIP telefónu alebo z obyčajného telefónu. Hlavným vybavením VoIP je pochopiteľné úspora nákladov a prvými kto mu neodolali boli veľké spoločnosti s pobočkami po celom svete. Pre veľa užívateľov je synonymom internetového telefonovania Skype, fungujúci na podobnom princípe. VoIP používa na prenos SIP (Session Initiation Protocol) protokol pre inicializáciu relácií, určený pre prenos signalizácie vo VoIP. Tento protokol sa stará o lokalizáciu účastníka, zaistenie stavu účastníka a riadenie prebiehajúceho spojenia.

5.2.1 Požiadavky na prenos paketov vo VoIP

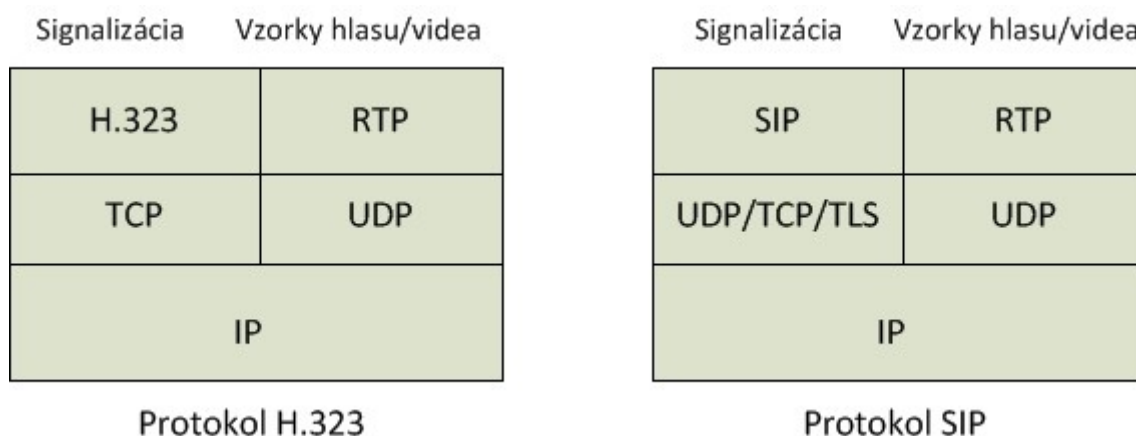
Vo VoIP rozlišujeme dva typy paketov, pakety signalizácie a pakety obsahujúce užívateľské dáta, najčastejšie hlasové vzory. Pre prenos signalizácie sú používané dva protokoly H.323 a SIP.

- Protokol H.323 používa pre prenos signalizácie protokol transportnej vrstvy modelu OSI nazývaný TCP, ktorý v prípade straty paketov zaručuje doručenie správy opakovaným prenosom. [3]
- Protokol SIP umožňuje použiť jeden z nasledujúcich dvoch protokolov na úrovni transportnej vrstvy UDP alebo TCP. Protokol UDP na rozdiel od TCP nezaručuje doručenie dát, SIP preto definuje opakované odosielanie správ v prípade neobdržania odpovede. Straty sa vtedy v oboch prípadoch prejavia vyšším oneskorením prenosu ale s výnimkou poruchy na spoji je doručenie správy zaručené. SIP umožňuje taktiež použiť protokol TLS (Transport Layer Protocol), ktorý zaisťuje zabezpečenie signalizačných dát. [3]

Skutočné problémy nastávajú pre pakety hlasu. Pakety hlasu sú prenášané pomocou protokolu UDP na úrovni transportnej vrstvy OSI modelu a pomocou protokolu RTP na úrovni relačnej vrstve.

- Protokol UDP zaisťuje iba možnosť adresovať konkrétne aplikácie v rámci cieľovej IP adresy a integritu prenášaných dát pomocou kontrolného súčtu. Každý hlasový paket môže byť stratený alebo doručený viackrát. Ich poradie môže byť zamenené.
- Protokol RTP zaisťuje služby špecifické na prenos hlasových alebo video vzorkov, prenáša informácie o type vzorku, časove údaje, údaje o poradí a vzorky samotné.

Straty paketov nie sú riešené žiadnym z týchto protokolov. Aby bola kvalita hovoru vysoká musia byť pakety doručené bez strát, s nízkym oneskorením (latency) a s nízkou variabilitou oneskorenia (jitter). Hierarchia hlavných protokolov je znázornená na obrázku 6.



Obr. 6: Hierarchia protokolov VoIP. [3]

5.3 IPTV

V dnešnej dobe analógové vysielanie končí a už je nasadené digitálne vysielanie. Digitálne vysielanie má niekoľko variant ako satelitné vysielanie (DVB-S, DVB-S2), káblové vysielanie (DVB-C), pozemné digitálne vysielanie (DVB-T) a mobilné vysielanie (DVB-H). Ďalšou možnosťou ako sledovať digitálne vysielanie je technológia IPTV (Internet Protocol Television). IPTV je vysielaná cez internetový protokol IP, využíva vlastnosti širokopásmových technológií a prináša nové možnosti a komfort pre zákazníkov a ďalšie príjmy pre poskytovateľov. IPTV je šírené najčastejšie cez ADSL alebo pripojením optického kábla. Nejedná sa o klasické internetové vysielanie pre počítače (napr. stream na webe STV1). Televízne vysielanie cez internetový protokol bude vďaka rozsiahlej sieti dostupná širšiemu počtu zákazníkov než súčasná káblová televízia. Dostupnosť IPTV v mieste nášho bydliska závisí na dostupnosti vysokorychlostného pripojenia, prostredníctvom ktorého je IPTV prenášaná. IPTV ponúka nielen množstvo televíznych a rozhlasových kanálov ale taktiež doprovodné služby ako je EPG (elektronický programový sprievodca), PPV (platené relácie), VoD (video na vyžiadanie), VCR (televízny archív), videopožičovňa a ďalšie. Tie sa líšia podľa konkrétnej ponuky jednotlivých poskytovateľov. K sledovaniu IPTV je potreba set-top-box a modem, ktorý nám predá, prenajme alebo odporučí poskytovateľ služby. Nevýhodou IPTV je nemožnosť príjmu pre viac televízorov a potom ešte niekoľkosekundové oneskorenie pri prepínaní jednotlivých kanálov programu, ktoré sa neodohráva i diváka ale priamo u operátora služby. IPTV zahŕňa živé TV vysielanie cez multicasting ďalej video na vyžiadanie Video-on-Demand cez unicast. Živé vysielanie IPTV používa protokol IGMP verziu 2 alebo IGMP verziu 3 pre pripojenie k multicast streamu. VoD používa UDP alebo RTP protokoly pre kanálový tok a kontroly sa vykonávajú pomocou ovládacieho protokolu RTSP.

5.3.1 Video-on-Demand

Video-on-Demand je služba ktorá je zahrnutá v IPTV umožňuje vyberať programy alebo filmy a sledovať ich pred televízorom alebo počítačom. IPTV poskytovatelia musia zabezpečiť aby ich systém na prevádzku VoD bol neustále rozširiteľný pre ďalších zákazníkov. Základným konceptom VoD je skladovanie videí a následne ich doručenie pri vyžiadaní užívateľa. Toto úložisko môže mať podobu centralizovaného servera pripravené poslať vyžadované video naraz aj sto užívateľom. Najbežnejšie kodeky používané pre VoD sú MPEG-2, MPEG-4 a VC-1. VoD používa UDP alebo RTP protokoly pre kanálový tok a kontroly sa vykonávajú pomocou ovládacieho protokolu RTSP.

5.4 Kvalita služieb QoS

Aplikácie akými sú prenos hlasu, videa a dáta potrebujú na prenos väčšiu šírku pásma a sú citlivé na oneskorenie a stratu paketov. Ak dôjde k prekročeniu týchto parametrov aplikácia sa stáva nepoužiteľná. Kvalita služieb QoS je súbor opatrení, ktorá zaisťujú určitý stupeň uspokojenia koncového užívateľa. Zaisťuje pridelenie dostatočných prostriedkov používanej siete pri prenose dát a predovšetkým spravodlivo rozdeľuje nastavenie parametrov pre jednotlivé služby, tým zabráni preťaženiu a zahlteniu siete. Pri prenose paketov môže nastať veľa príčin problémov smerom od odosielateľa k príjemcovi. Ide o oneskorenie (latency), zmena poradia paketov (packet order), kolísanie oneskorenia (jitter) a strata paketov (packet loss). [11]

- Oneskorenie- je čas, ktorý uplynie od odosielania správy od zdroja k cieľu,
- Zmena poradia paketov- je dôsledkom oneskorenia a princípom individuálneho smerovania každého paketu,
- Kolísanie oneskorenia- predstavuje variabilitu v doručovaní paketov cieľovému uzlu. Spôsobuje pretečenie vyrovnávaciej pamäte v set-top boxe,
- Stratovosť paketov- je priemerný počet stratených paketov za určité obdobie udáva sa v % vzhľadom k celkovému počtu prenesených paketov.

5.5 Metódy hodnotenia kvality obrazu a video signálu

5.5.1 Subjektívne meranie kvality

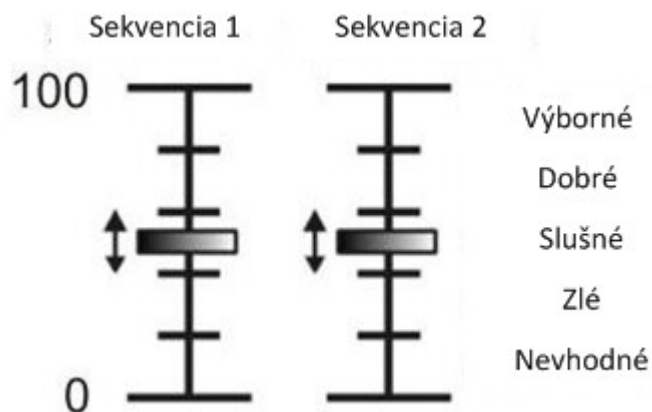
Subjektívna metóda merania sa používa k posúdeniu kvality obrazu a video signálu za pomoci skupiny užívateľov ako divákov, ktorý pozorujú obraz alebo video. Pre hodnotenie kvality obrazu a video signálu existujú určité odporúčania napr. ITU-T P.910. Subjektívne meranie kvality je založené na ľudskom faktore vnímanie. Výhodou subjektívneho merania je, že človek dokáže popísať obraz podľa skutočnosti a vďaka tomu dochádza k obmedzeniu informácií nepostrehnuté ľudským okom. Subjektívne meranie je ovplyvnené množstvom faktorov a je zložité vďaka týmto faktorom vykonať opakovateľné subjektívne meranie. Preto aby sa získal výsledok presnejšieho subjektívneho merania sa test mnohokrát zopakuje ale už v iných častiach obrazu alebo videa. Metódy pre subjektívne testovanie sú napríklad MOS, DSCQS, DSIS a ACR.

- MOS (Mean Opinion Score) - hodnotenie kvality videa je založené na skupine ľudí, ktorá bude hodnotiť video na základe danej 5 bodovej číselnej stupnice viac tabuľka 8. Najprv sa zostaví séria krátkych videí určených pre test. Potom sa môže testovať. Výsledná hodnota MOS sa vypočíta ako priemerná hodnota nameraných výsledkov,

Tab. 8: Bodová stupnica kvality.

Bodová stupnica kvality			
5-bodová stupnica kvality		9-bodová stupnica	
Hodnoty	Odhadované kvality	Hodnoty	Odhadované kvality
5	Vynikajúce	9	Vynikajúce
4	Dobré	8	
3	Dostačujúce	7	Dobré
2	Zlé	6	
1	Nevhodné	5	Dostačujúce
		4	
		3	Zlé
		2	
		1	Nevhodné

- ACR (Absolute category rating) - táto metóda hodnotenia je založená na princípe hodnotenia obrazov alebo sekvencie obrazov. Divák je požiadaný o ohodnotenie kvality obrazu na základe 5 bodovej stupnici tabuľka 8. Divák by mal svoje rozhodnutie povedať do 10 sekúnd. Ak je veľa divákov na posudzovanie, použije sa 9 bodová stupnica tabuľka 8,
- DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) – jedná sa o metódu hodnotenia dvojice sekvencií a to referenčná a testovacia. Test prebieha v krátkom čase 8 až 10 sekúnd a obrazy sa vyberajú v náhodnom poradí. Pozorovateľ nevie ktorú sekvenciu v momente testuje. Pozorovateľ hodnotí kvalitu na základe stupnice v rozsahu 0 až 100 a mala by byť vybavená slovami označujúce kvalitu viac obrázok 7 nižšie.



Obr. 7: Stupnica kvality používaná u metódy DSCQS. [19]

5.5.2 Objektívne meranie kvality

Táto metóda používa k vyhodnoteniu kvality výpočty číselných hodnôt podľa matematických vzorcov. Objektívna metóda je rýchlejšia, jednoduchšia a lacnejšia oproti subjektívnej metóde. Testuje sa kvalita video signálu na základe porovnania obrazových snímok s komprimovanou verziou a degradovanou kvalitou signálu. Medzi objektívne merania kvality sa zaraďujú MSE, PSNR, MDI, MPQM, SSIM a ďalšie.

5.5.2.1 MSE a PSNR

MSE (Mean Square Error) je jedným z mnoho spôsobov ako vyčísliť rozdiely medzi hodnotami vyplývajúce z odhadu a skutočné hodnoty. MSE je stredná kvadratická chyba prijatého signálu od pôvodného. [18]

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (X_{ij} - y_{ij})^2 [-] \quad (1)$$

kde: x originálny obraz, y prijatý obraz, i, j prvky obrazovej matice, M počet pixelov na výšku obrazu, N počet pixelov obrazu na šírku.

PSNR (Peak signal-to-noise ratio) je najpoužívanejšie objektívne meranie kvality. PSNR sa najčastejšie používa ako meradlo kvality stratovej kompresie kodekov. Signál v tomto prípade je pôvodné dáta a hluk je chyba. PSNR predstavuje pomer medzi najvyššou hodnotou signálu voči MSE a udáva sa v decibeloch. Typická hodnota PSNR pre komprimované obrázky je medzi 30 až 40 dB.

$$PSNR = 10 \cdot \log \frac{m^2}{MSE} [dB] \quad (2)$$

Kde: m je maximálna hodnota, ktorú môže pixel získať.

5.5.2.2 SSIM

SSIM (Structural Similarity Index) je nová metóda pre meranie podobnosti medzi dvoma obrázkami. SSIM je navrhnuté s cieľom zlepšiť metódy ako je PSNR a MSE, ktoré sa ukázali byť v rozpore s vnímaním ľudským okom. Obrazy sú určené pre sledovanie ľudským okom a preto návrh SSIM je inšpirovaný ľudským zrakovým systémom HVS (Human Visual System).

K meraniu štruktúrnej podobnosti medzi dvoma obrazovými signálmi x a y sa používa tvar: [18]

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (3)$$

Kde: $l(x, y)$ porovnáva jas signálu, $c(x, y)$ porovnáva kontrast signálu a $s(x, y)$ meria štruktúrnu koreláciu signálu. Vypočítajú sa z nasledujúcich vzťahov (4), (5) a (6). [18]

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (4)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (5)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (6)$$

Veličina μ_x, μ_y sú stredné hodnoty vzorkov signálu x a y , ktoré sa vypočítajú podľa vzťahu:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (7)$$

σ_x^2 a σ_y^2 sú príslušné rozptyly a σ_{xy} je vzájomná kovariancia medzi signálmi x a y .

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu_x)^2\right)} \quad \sigma_y = \sqrt{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2\right)} \quad (8)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (9)$$

Konštanty C_1 , C_2 a C_3 sa používajú k stabilizácii v prípade, že priemer a rozptyl sú veľmi malé. Parametre $\alpha > 0$, $\beta > 0$ a $\gamma > 0$ sa používajú k nastaveniu relatívnej dôležitosti z troch zložiek. Tieto zložky nie sú na seba závislé a preto napr. zmena jasu a kontrastu má malý vplyv na štruktúru obrazu. Pre zjednodušenie SSIM sa používa toto nastavenie parametrov $\alpha = \beta = \gamma = 1$ a $C_3 = C_2/2$ potom je rovnica (3) zjednodušená na variantu (10). [18]

$$SSIM(x, y) = \left(\frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}\right) \cdot \left(\frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}\right) \quad (10)$$

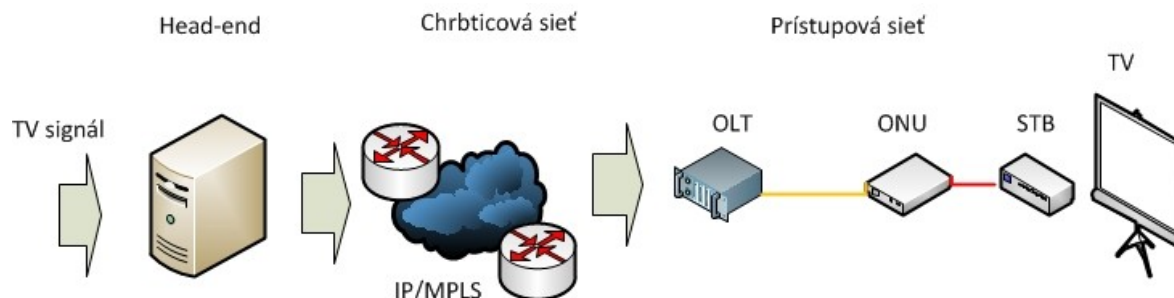
SSIM index sa vypočíta pre každý obrazový bod (i, j) . Kvalita celého obrazu sa vypočíta pomocou stredného SSIM indexu.

$$MSSIM = \frac{1}{M} \sum_i \sum_j SSIM(i, j) \quad (11)$$

kde M je celkový počet lokálnych SSIM indexov.

6 ŠTRUKTÚRA IPTV

Na obrázku 8 je znázornená topológia šírenia IPTV. Na ľavej strane je hlavné vybavovacie pracovisko (Super head-end). V tomto bode vstupujú televízne programy a rádiové stanice poskytovateľa do siete. Spôsob ako môžu byť stanice získané je veľa, jedná sa predovšetkým o satelitné, pozemné a káblové vysielanie. Vybavovacie pracovisko spracováva vstupné video alebo audio signál. Prichádzajúce signály môžu byť analógové alebo digitálne. Analógový signál je digitalizovaný a skomprimovaný pomocou vhodnej kompresie MPEG-2, MPEG-4/H.264 a VC-1. Digitalizovaný vstupný signál môže byť prekódovaný do iného vhodného formátu. Z vybavovacieho pracoviska pokračuje prenos video signálu chrbticovou sieťou poskytovateľa, ktorá zaisťuje prenos dátových tokov do prístupovej siete. Chrbticová sieť poskytovateľa IPTV je väčšinou postavená na technológii IP/MPS (MPLS – prepínanie paketov po definovanej ceste na základe návestia). Prístupová sieť má za úlohu distribuovať jednotlivé dátové toky k zákazníkovi. Tu hrá dôležitú úlohu parametre kvality služby QoS, kde môžeme napríklad uprednostňovať prenos videosignálu a zabrániť oneskoreniu alebo fragmentovaniu (rozdeleniu). V štruktúre IPTV siete sa ďalej nachádza regionálne odbočovacie pracovisko (local office), ktoré má za úlohu pridávať do vysielania regionálne zameraný obsah (regionálne televízie, regionálne rozhlasové stanice atď.). Na samom konci prenosového reťazca sa nachádzajú zákaznicke priestory, kde sú zákaznicke zariadenia (Set-top-box, modem), ktoré ukončujú jednotlivé dátové toky a prevádzajú ich na signály, ktoré sa dajú zobraziť televízorom. [20]



Obr. 8: Usporiadanie siete IPTV. [20]

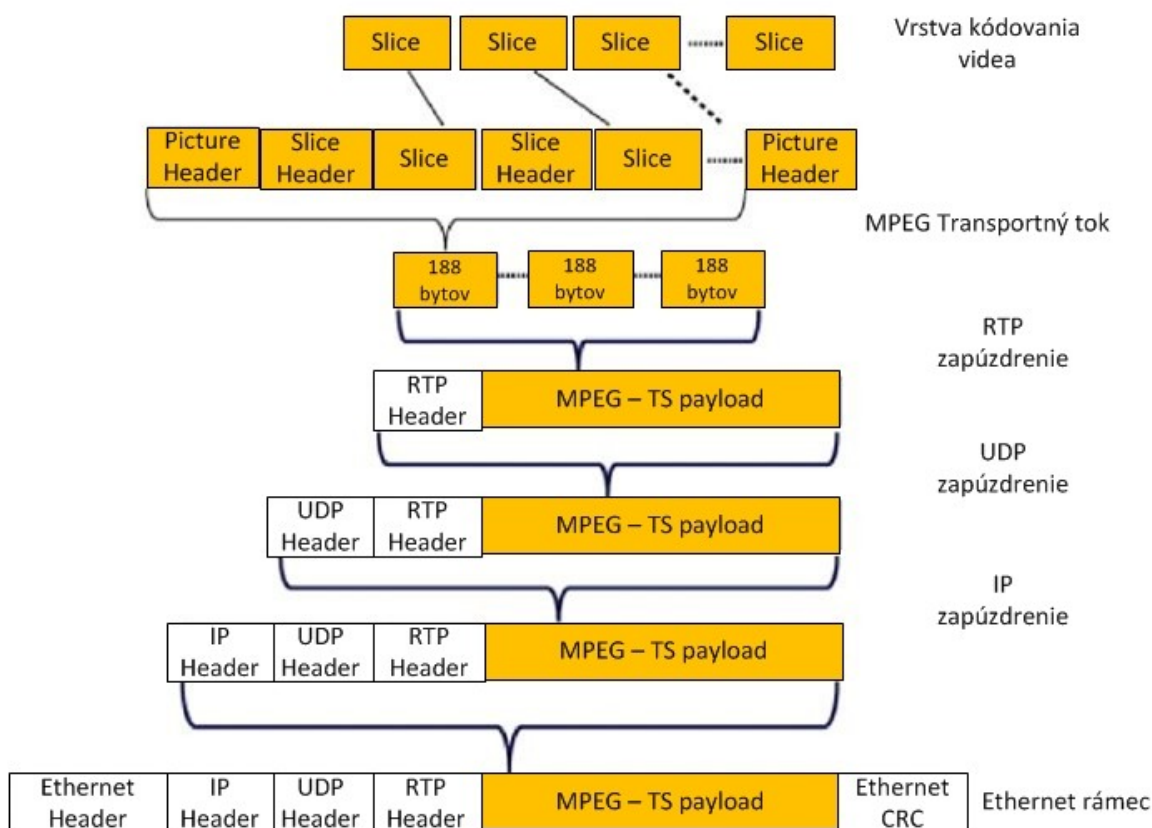
Pre prenos video signálu sa používajú rôzne druhy kompresie a rôzne obrazové formáty SDTV a HDTV. V tabuľke 9 sú uvedené potrebné prenosové rýchlosti.

Tab. 9: Prenos digitálnej televízie.

Typ vysielania	Prenos digitálnej televízie			
	SDTV	SDTV	HDTV	HDTV
Typ kompresie	MPEG-2	MPEG-4/H.264	MPEG-2	MPEG-4/H.264
Prenosová rýchlosť [Mb/s]	4 až 7	2 až 3	18 až 20	5 až 7 (720p/25) 8 až 14 (1080i/50)

6.1 Používané protokoly pre prenos video toku v IPTV

Vstupný video signál môže byť analógový alebo digitálny. Analógový signál je ďalej pomocou koderov digitalizovaný a následne skomprimovaný pomocou vhodnej kompresie MPEG-2, MPEG-4/H.264, Windows media. Takto vznikne dátový tok video/zvuk, ktorý je rozdelený do malých blokov PES (základný paketový tok). Jednotlivé bloky dát obsahujú záhlavie obrázku a záhlavie bloku dát. Jednotlivé časti základného paketového toku majú veľkosť 188 bytov. Toto je ďalej združované do prenosového dátového toku MPEG-TS. Do jedného ethernetového rámca je možno vložiť až 7 blokov viac obrázok 5.2. [20]



Obr. 9: Zapúzdrenie. [2]

Takto spracovaný video signál ďalej vstupuje do transportnej časti IPTV modelu. Táto časť sa skladá z dolných štyroch vrstiev OSI modelu fyzická, dátová, sieťová a transportná. Tieto štyri vrstvy slúžia k ďalšiemu zapuzdrovaniu prenosového video signálu a k jeho prenosu medzi zdrojom, video serverom – Head End a koncovým užívateľom.

6.1.1 IGMPv2

IGMP2 je definované IETF RFC 2236. Jedná sa o najstaršie IGMP verziu používané na podporu IPTV. Hlavnou výhodou IGMPv2 od staršej IGMPv1 je prídanie ďalšej správy, ktorá umožňuje znížiť zaťaženie siete. Je to správa odhlásenia sa zo skupiny Leave Group, ktorá

umožňuje užívateľovi sa okamžite odhlásiť a opustiť multicastovú skupinu a tým zabráňuje preťaženiu siete. IGMPv2 je navrhnuté pre podporu akejkoľvek multicast siete. IGMPv2 je kompatibilné s IGMPv1.

6.1.2 IGMPv3

IGMPv3 je definované IETF RFC 3376. Medzi hlavné vylepšenia v IGMPv3 je podpora SSM (Single Source Multicast). Pri používaní SSM užívateľ určuje zdrojovú adresu odkiaľ bude počúvať. IGMPv3 je vybavený ďalšími správami:

- Membership Report určuje konkrétny zdroj dát pre multicastovú skupinu, pretože môže existovať viac zdrojov,
- Inclusion Membership Report poskytuje členom skupiny IP adresy zdrojov z ktorých majú prijať data,
- Exclusion Membership Report umožňuje členom rozpoznávať zdroje, ktoré nechcú prijať.

Ide o dôležité zabezpečenie, ktoré bráni iným klientom dostať sa do siete. Požiadavku na zmenu kanálov možno vykonať jedine IGMPv3, tým sa urýchľuje proces zmeny kanálov čo je rozhodujúca schopnosť v sieťach IPTV

6.1.3 UDP

UDP (User datagram protokol) je definovaný IETF RFC 768. UDP je tzv. nespoľahlivý protokol. UDP protokol prenáša datagramy medzi počítačmi v sieti, ale na rozdiel od TCP nezaručuje že paket sa nestratí, nezmení sa poradie paketov alebo nepríde viac krát. Preto je UDP ľahší a časovo rýchlejší a efektívnejší. UDP protokol stanovuje postup pre aplikačné programy na odosielanie správ do iných programov s minimálnym mechanizmom. Nastaví spojenie medzi vysielacou a prijímacou stanicou na základe IP adresy a portu a tým sa dáta doručia do cieľa. UDP je nevhodné pre prenos obrazových dát, pretože dáta ktoré dorazia prijímač zobrazí v poradí akom prišli.

6.1.4 RTP

Real-time Transport Protocol je definovaný IETF RFC 2250. RTP zabezpečuje doručovanie dát, najčastejšie je to video a audio v reálnom čase. Definuje štandardný formát paketu pre prenos audia a videa cez sieť. Typický RTP nepoužíva žiadne štandardné porty na komunikáciu. S UDP komunikácia prebieha na párnom porte a ďalší vyšší nepárny port je využitý ku komunikácii s RTCP. RTP je používané v spojení s RTP Control Protocol. Kým RTP vysiela prúd médií je RTCP používané ku sledovaniu prenosu štatistiky a kvality služby. RTP podporuje prenos dát do viacerých cieľov pomocou multicasu. RTP je považované za primárny štandard pre audio a video prepravu v sieťach. Štruktúra RTP protokolu je znázornená na obrázku 5.3.

V	P	X	CC	M	PT	Sequence number
Timestamp						
Synchronization source (SSRC) identifier						
Contributing source (CSRC) identifiers						
Header extension (optional)						
Payload header (payload format dependent)						
Payload data						Padding

Obr. 10: Štruktúra RTP paketu.

- V (Version number) - Každý paket obsahuje RTP číslo verzie. Je to iba súčasť kontroly paketov.
- X - označuje prítomnosť rozšírenia hlavičky.
- P – Padding - ak je nastavený, paket bude na konci obsahovať jeden alebo viac dodatočných oktetov, ktoré nie sú súčasťou payload. Padding je zriedka používaný, je nutný pre niektoré šifrovacie systémy.
- M (Marker) - bit v hlavičke RTP sa používa na označenie zaujímavých udalostí v rámci mediálneho prúdu.
- PT - Payload Type - identifikuje média prepravovaného paketu.
- Sequence number - Sekvenčné číslo slúži na identifikáciu paketov a poskytovať údaje k prijímačom ak sú pakety stratené alebo prijaté v inom poradí aby prijímač zrekonštruoval poradie paketov v akom boli odoslané.
- Timestamp - Časová pečiatka označuje vzorkovací okamžik pre prvý oktet mediálnych dát v pakete. Táto pečiatka musí byť odvodená od hodín, ktoré sa inkrementuju monotónne a lineárne v čase, aby sa mohli vykonávať synchronizácia a Jitter (variabilné oneskorenie).
- Synchronization source (SSRC) identifier - Synchronizačný zdroj identifikuje aktérov v rámci relácie RTP. Tento identifikátor je vybraný náhodne so zámerom aby žiadne dva synchronizační zdroje v rámci tej istej RTP relácie nemali ten istý SSRC identifikátor.
- Header extension (optional) - nepovinný údaj. Rozšírenia hlavičky sú rôznej dĺžky.
- Payload header (payload format) - poskytuje informácie. V mnohých prípadoch payload formát bude potrebovať viac informácií pre optimálnu prevádzku, tieto informácie tvoria ďalšiu hlavičku, ktorá je definovaná ako časť payload formátu. Payload header je súčasťou RTP paketu po pevnej hlavičke, všetkých záznamov CSRC a rozšírenej hlavičke.

- Contributing Sources (CSRC)- Zoznam prispievajúcich zdrojov, identifikuje účastníkov ktorý prispeli k paketu RTP, ale nezodpovedá za jeho načasovanie a synchronizáciu. Dĺžka zoznamu je indikovaná poľom CC v hlavičke RTP.
- Payload data- tvorí záverečnú časť RTP paketu. Obsahuje dáta video alebo hlasové.

6.1.5 RTSP

Real Time Streaming Protocol je kontrolný protokol, navrhnutý pre použitie v komunikačných systémov pre kontrolu streamovaných médií. Protokol sa používa pre stanovenie a kontrolu relácií medzi koncovými bodmi. Klienti média serveru môžu sami spustiť prehrávanie videa alebo aj zastaviť a opäť prehrať. Prenos streamovaných dát samo o sebe nie je úlohou protokolu RTSP. Väčšina RTSP serverov používajú RTP pre mediálny prúd doručenia.

6.2 Kodeky v IPTV

Kodek je systém schopný kódovať alebo dekódovať digitálny dátový prúd alebo signál. V záujme dosiahnuť čo najmenší objem dát výsledného streamu kodeky často používajú stratové kompresie. To znamená, že počas prevodu dochádza ku strate kvality signálu. Kodeky používajúce bezstratovú kompresiu umožňujú plne zachovať kvalitu signálu, ktorý kodek spracúva. Kompresné pomery takýchto kompresíí sú však obvykle malé. To znamená, že výsledok bezstratovej kompresie obvykle vyžaduje vyšší objem dát v porovnaní so stratovými kompresiami. IPTV najčastejšie používa štandardy stratovej kompresie MPEG-2/ H.262 a MPEG-4 AVC/H.264.

6.2.1 MPEG-2/H.262

MPEG-2 je široko používaný ako formát digitálnych televíznych signálov. H.262 alebo MPEG-2 formálne známy ako ISO/IEC 13818-2. Štandard video kompresie MPEG-2 part 2 je totožný zo štandardom H.262. Norma ITU-T H.262 z roku 2000 rozširuje normu z roku 1995, špecifikuje kódovanie obrazových dát a dekóduje aby skonštruoval obraz. Poskytuje všeobecný grafický systém kódovania, ktorý slúži širokému spektru aplikácií. Jeho základný kódovací algoritmus je križený pohybovou kompenziou a DCT. Obrázky majú byť kódované ale môžu byť prekladané alebo progresívne. Nevyhnutné algoritmické prvky sú integrované do jedného syntaxu a obmedzený počet podmnožín sú definované v podmienkach profilu a úrovne s cieľom uľahčiť praktické uplatnenie tohto kódovacieho video štandardu. Obvykle sa používa na video vyššej kvalite a dátovými tokmi na 3 Mbit/s, avšak podporuje aj nižšie dátové toky a nižšiu kvalitu. Video prehrávače s podporou MPEG-2 sú vďaka spätnej kompatibilite formátu schopné prehrávať aj formát MPEG-1.

6.2.2 MPEG-4 AVC/H.264

H.264, MPEG-4 part 10 alebo AVC Advanced Video Coding je digitálny video kodek štandardu, ktorý je známy pre dosiahnutie veľmi vysokej kompresie dát. Napísaná ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) spolu s normou ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) ako produkt spoločného úsilia. H.264/AVC/MPEG-4 obsahuje rád nových funkcií, ktoré jej umožnia kompresiu videa oveľa účinnejšie ako staršie normy a poskytnúť väčšiu flexibilitu pre

aplikácie. Má však vysoké nároky na hardware, ale aj tak má široké možnosti použitia. Je predpísaný ako súčasť rôznych formátov a štandardov, je používaný napríklad na video konferencie, streamovanie, video na webových stránkach, DVB vysielanie, HD video na Blu-ray Disc alebo v digitálnych kamerach AVCHD.

6.2.3 MPEG TS

MPEG Transport Stream je definovaný štandardom MPEG-2 part 1 je využívaný napríklad pri digitálnom televíznom vysielaní DVB. MPEG TS už nie je kodek, ale jedná sa o kontajner, ktorý obsahuje jednu alebo niekoľko potokov už zakódovaných. MPEG TS môže súčasne prenášať aj viacero na sebe nezávislých videí. Je prispôbený na prenosy, pri ktorých sú obvykle poruchy ako je čiastočné rušenie alebo strata signálu. V praxi sa obvykle nevyužíva na odosielanie alebo zverejňovanie jednotlivých video súborov. S určitými úpravami a rozšíreniami nad rámec MPEG štandardov sa používa aj v špecifikácii formátu Blu-ray Disc Video.

7 VIDEOLAN

VideoLan je kompletne softvérové riešenie pre streamovanie videá, vyvinuli ho študenti z Ecole Centrale Paríť a vývojary z celého sveta pod GNU General Public License (GPL). VideoLan je navrhnutý tak aby MPEG videá boli prenášané v širokopásmových sieťach. VideoLan zahŕňa v sebe hlavný produkt VLC media player.

7.1 VLC media player

VLC funguje na mnohých platformách. Môže byť používaný ako klient na prijímanie, dekódovanie a zobrazovanie MPEG. Dokáže čítať MPEG-1, MPEG-2 a MPEG-4, súbory z pevného disku, CD-ROM, DVD a VCD, od satelitnej karty (DVB-S). VLC možno použiť aj ako server pre streamovanie MPEG-1, MPEG-2 a MPEG-4, DivX súbory, DVD na jedno zariadenie na jednu IP tzv. *unicast* alebo na dynamickú skupinu zariadení, na ktorú sa klienti môžu pripojiť alebo odpojiť, na skupinovú adresu IP tzv. *multicast*.

Inštalácia VLC na operačný systém Ubuntu, ktorý bol na servery sa môže vykonať pomocou Správca balíkov Synaptic vyhľadáním položky VLC, alebo príkazom ktorý sa zadá do terminálu.

```
apt-get update    aktualizujeme všetky nové balíky
```

```
apt-get install vlc    nainštalujeme vlc
```

7.1.1 Prenos videa typu unicast

Unicast je komunikácia medzi jedným odosielateľom a jedným prijímačom cez sieť. V prípade videa sa jedná o server ktorý vysiela a klient ktorý prijíma a sleduje. Pri unicaste môže dôjsť k zahlteniu siete pri veľkom množstve požiadaviek. Unicast má aj svoje výhody ako príjemca má kontrolu nad prenášaným videom, môže ho spustiť, zastaviť alebo prehľadávať video.

Unicast streamovanie spustíme na strane servera príkazom:

```
vlc /Plocha/video/Test.avi -sout '#std{access=udp,mux=ts,dst=10.10.0.3:1234}'
```

Prijem videá na strane klienta s ip adresou 10.10.0.3 získame príkazom:

```
vlc udp://@:1234
```

7.1.2 Prenos videa typu broadcast

Broadcast je komunikácia medzi jedným hlavným zariadením a všetkými ostatnými. Video je vysielať z hlavnej stanice a prijímajú ho všetky ostatné stanice. Nevýhodou broadcastu je, že na stredne veľkých a veľkých sieťach môže dôjsť k zahlteniu.

Broadcastové streamovanie na strane servera spustíme príkazom:

```
vlc /Plocha/video/Test.avi -sout '#std{access=udp,mux=ts,dst=10.10.0.255:1234}'
```

Príjem videá získame zadaním príkazu na akomkoľvek počítači s IP adresou v rozsahu 10.10.0.x:

```
vlc udp://@:1234
```

7.1.3 Prenos videa typu multicast

Multicast je metóda doručenia dát do skupiny cieľovým počítačom. Multicast bol vyvinutý, aby doplnil technológiu unicast a broadcast, ktoré nezvládali nové aplikácie. U multicastu môže vysielateľ server viac videí a prijímať ich bude len istá skupina príjemcov.

Multicastové streamovanie spustíme príkazom:

```
vlc /Plocha/video/Test.avi -sout '#std{access=udp,mux=ts,dst=239.2.3.100:1234}'
```

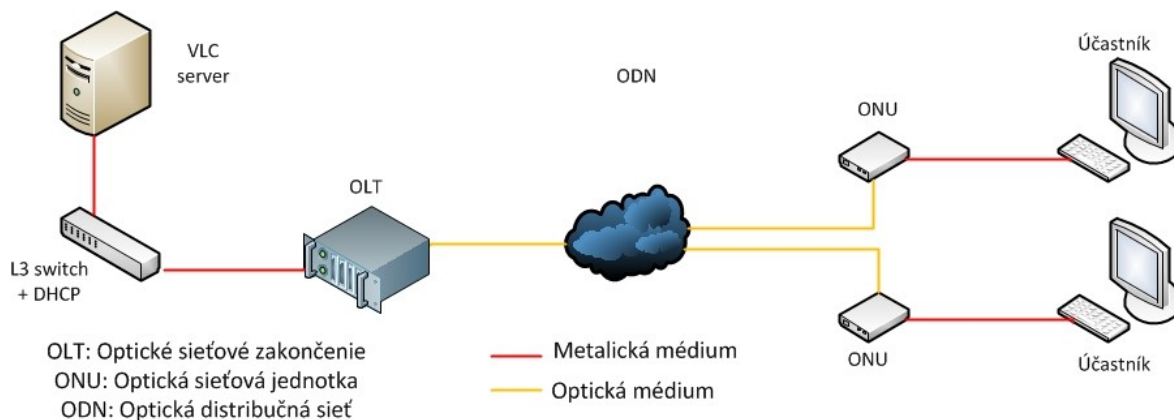
Príjem videa získame zadaním príkazu:

```
vlc udp://@239.2.3.100
```

8 MERANIE KVALITY IPTV

V tejto časti bakalárskej práce sa venujem meraniu a kvalite služby IPTV. Celú praktickú časť som vykonával v učebni ktorá bola vybavená všetkými dostačujúcimi prostriedkami pre zhotovenie mojej praktickej časti bakalárskej práce. Na obrázku 12 je znázornená schéma zapojenia siete s ktorou som pracoval. Táto praktická časť bakalárskej práce je rozdelená do viacerých častí.

- Konfigurácia DHCP serveru
- Konfigurácia OLT zariadenia
- Konfigurácia P2P komunikácie
- Konfigurácia P2MP komunikácie v GEAPON sieti
- Meranie parametrov v GEAPON topológiach
- Meranie kvality IPTV analyzátorom IxChariot
- Meranie kvality obrazu a video signálu objektívnou metódou



Obr. 11: Schéma zapojenia siete.

8.1 Konfigurácia DHCP serveru

Pred OLT zariadením má byť umiestnený DHCP server, ktorý automaticky prideluje IP adresy zariadeniam umiestneným za OLT. Konfiguráciu som urobil na 24 portovom L3 switchi Catalyst 3650 PoE od Cisco. Nasledujúce príkazy som použil na konfiguráciu DHCP servera:

```
enabled  
  
configure terminal  
  
ip route  
  
interface FastEthernet 0/1  
  
no switchport
```



```
ip dhcp pool DHCP1

network 192.168.20.0 255.255.255.0

lease infinite
```

Na port FastEthernet 0/1 je nakonfigurovaný DHCP server, zvyšných 23 portov slúži ako switch. Prepojil som port FastEthernet 0/1 s ľubovoľným portom zo zvyšných 23 napr. FastEthernet 0/2. Voľných 22 portov zo switchu Catalyst 3650 PoE slúžia ako porty na pripojenie ľubovoľných zariadení ako OLT.

8.2 Konfigurácia OLT

OLT je zariadenie, ktoré slúži ako koncový bod poskytovateľa služieb pasívnych optických sietí.

OLT zariadenie ktoré bolo v učebni je od výrobcu Allied Telesis model iMAP 9102. Táto jednotka je umiestnená v rack skrini je modulárneho typu so 4 voľnými slotami označené 0-3. V slot 3 je umiestnená karta CFC12, ktorá je pre všetky verzie osadená rovnako. Do zvyšných slotov sa umiestňujú servisne modulové karty. Na obrázku 13 je znázornené zariadenie OLT s osadenými kartami, ktoré som používal.



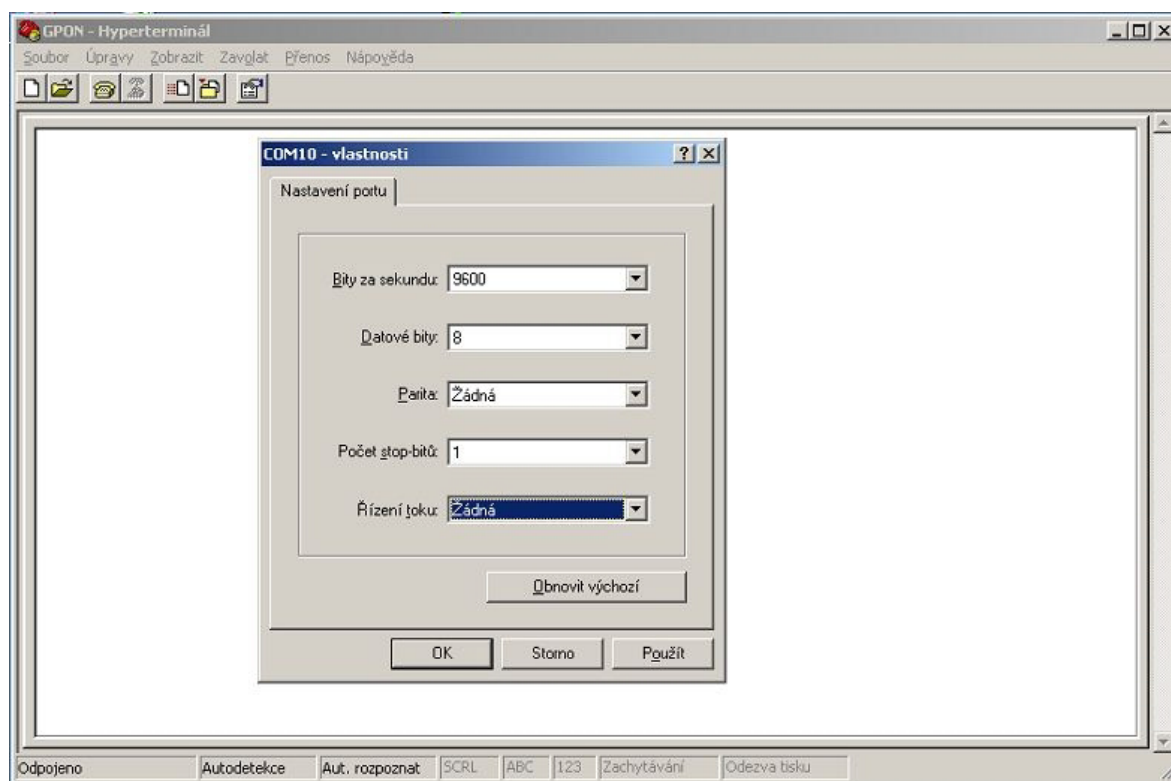
Obr. 12: Pohľad na iMAP9102.

Význam jednotlivých označení iMAP9102:

- A- CFC12 karta, ktorá obsahuje:
 - D- Console poskytuje miestne pripojenie k PC cez RJ45 na strane OLT na druhej strane podľa typu kábla cez USB, RS232.
 - E- OAM poskytuje pripojenie k MGMT (management) použitím aplikačného protokolu Telnet pripojením štandardným sieťovým UTP káblom.
 - F- GE2RJ pripojenie cez FastEthernet, poskytuje nižšiu rýchlosť prenosu dát.
 - G-GE4 poskytuje cez vlákno WAN rozhranie. Pripája sa cez SFP moduly.
- B- FX 20 BX karta obsahujúca 20 portov pre optické konektory typu LC. Dosahuje vzdialenosť 20km, používa jednovidové vlákna, Tx vysielanie na vlnovej dĺžke 1550nm a Rx prijímanie 1310nm.
- C- EPON2 karta s dvoma SFP modulmi. Poskytuje prevádzku PON siete.

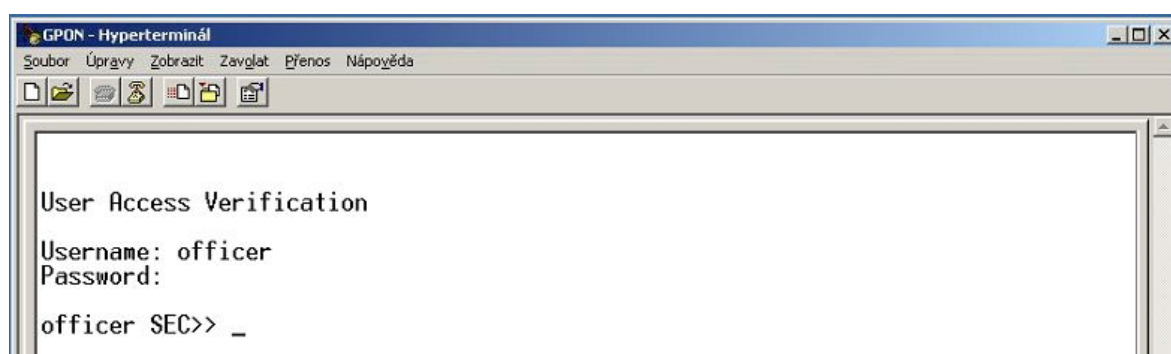
Na konfiguráciu som používal notebook ktorý sa pripojil k OLT cez sériové rozhranie Console na karte CFC12 pomocou kábla, ktorý bol na jednom konci ukončený konektorom RJ45 a na druhom konci bol RS-232 konektor. Na notebook sa nedal pripojiť konektor RS-232 preto som

použil redukciu z RS-232 na USB. K prístupu do OLT som použil aplikáciu HyperTerminál (MS Windows). Nasledujúci obrázok 14 popisuje pripojenie k OLT cez Hyperterminál.



Obr. 13: Nastavenie aplikácie HyperTerminál.

Pre úspešne pripojenie k OLT konfigurácií bolo treba zadať prihlasovacie užívateľské meno a heslo. V dokumentoch je zadané meno *officer* a heslo *officer* pre prístup. Na obrázku 15 nižšie je zobrazené úspešné prihlásenie do konfiguračného režimu OLT.



Obr. 14: Prihlásenie do konfiguračného režimu OLT.

Po úspešnom prihlásení do konfiguračného režimu OLT som ako prvé overil nastavenie systému príkazom `show system`. Ako odpoveď som dostal výpis o systéme, systémový čas, sériové číslo, software verziu, počet kariet atď.

Príkazom `show card` zobrazíme všetky karty ktoré sú umiestnené v zariadení. Zobrazí sa číslo slotu v ktorom je karta umiestnená, jej typ, stav a prípadne aj chyby. Na obrázku 7.5 je výpis príkazu `show card`.

```
officer SEC>> show card
```

```
--- Card Information ---
```

Slot	Prov Card Type	State	Faults
0	EPON2	UP-DN-NotInstalled	Minor
1	FX20	UP-UP-Online	-
2	ADSL24B	UP-DN-NotInstalled	Major
3	CFC12	UP-UP-Online (Active)	-
4	GE2RJ	UP-UP-Online	-
5	GE4	UP-UP-Online	-
FAN	PEM71	UP-UP-Online	-

Obr. 15: Výpis z príkazu `show card`.

Z obrázku 16 vidíme že výpis nám zobrazil aj nejaká chyby pri kartách ADSL24B a EPON2. Chyba môže byť vtom že karty nie sú nainštalované ale z obrázku 13 vidíme že karty sú prehodené. Karty som vymenil a chyby sa nevypísali.

Príkazom `show card <číslo slotu>` získame podrobnejší výpis o karte na danom slotu, ktorý sme zadali.

Ďalší z výpisových príkazov je `show interface card <číslo slotu>`, ktorý vypíše všetky interface na danej karte.

Príkaz `show interface <číslo interface>`, číslo interface je zložené z dvoch častí X.Y kde X je číslo slotu karty a Y je číslo poradia portu. Týmto príkazom sa nám zobrazia informácie o konkrétnom porte. Na obrázku 17 nižšie je zobrazený výpis z príkazu `show interface 1.1`.

```
--- FX Interfaces ---
```

```
Interface..... 1.1
Type..... FX
State..... UP-DN-Failed
Description..... <none>
Remote ID..... <none>
External Profile..... <none>
Card Type..... FX20
```

Obr. 16: Výpis z príkazu `show interface 1.1`.

Ďalším krokom bolo skontrolovať systémový čas, keďže OLT zariadenie bolo prvýkrát spustené, príkazom `show system time`. OLT zariadenie sa dokáže synchronizovať zo serverom pomocou protokolu SNTP, ktorý vyžaduje server. Čas môžeme nastaviť príkazom `set system time=HH:MM:SS` a dátum `set system date=YYYY-MM-DD`.

OLT umožňuje pripojenie cez TELNET pre vzdialenú správu MGMT rozhranie. Prvým krokom je spustenie Telenet serveru príkazom `enable telnet server`. Ďalším krokom je zadanie IP adresy a masky podsiete na dane rozhranie mgmt, príkazom `add ip interface=mgmt ipaddress=158.196.142.2 subnetmask=255.255.255.224` povalíme port `enable ip interface=mgmt`. Výpis z konfigurácie mgmt portu zobrazíme príkazom `show interface mgmt`, ktorý je na obrázku 18.

```
officer SEC>> show ip interface mgmt

--- IP Interfaces ---

Interface..... ETH:0 (MGMT)
IP State..... Enabled

Provisioning
  IP Address..... 158.196.142.2
  Subnet Mask..... 255.255.255.224
  Gateway..... 158.196.23.23
  DNS..... <none>
  Domain Name..... <none>
  Card..... ACTCFC
  MGMT..... Yes
```

Obr. 17: Výpis príkazu `show interface mgmt`.

8.3 Konfigurácia P2P siete

Pre sieť P2P som použil ONU jednotky od výrobcu WAMIN modely CS-120. Táto ONU jednotka je navrhnutá pre FTTH, slúži aj ako média konvertor, dosahuje prenosové rýchlosti 10/100Base-TX a 100Base-FX čiže 10/100 Mbit/s. ONU jednotka bola priamo napojená jednovlákňovým vláknom do jedného z portov karty FX20BX v OLT zariadení. Po všetkých konfiguráciách OLT a ONU jednotke sa nepodarilo nadviazať komunikáciu medzi oboma zariadeniami. Ledka na ONU jednotke optické pripojenie vôbec nesvietila. ONU jednotka bola prepnutá aj do média konvertoru ale ani to nepomohlo, OLT ani ONU jednotka nechceli komunikovať. Skontaktoval som sa aj s predajcom ONU jednotky ale ani ten mi nedokázal vysvetliť možnú príčinu problému komunikácie medzi OLT a ONU zariadením. Možná príčina by mohla byť nekompatibilita ONU jednotky s OLT zariadením.

8.4 Konfigurácia P2MP siete

Pre sieť typu P2MP sme použili ONU jednotky od výrobcu Allied Telesis model AT-ON 1000 GEAPON. Táto jednotka je od rovnakého výrobcu ako OLT zariadenie, preto by nemal byť problém s kompatibilitou týchto zariadení. ONU jednotka slúži ako prevodník medzi sieťou EPON a štandardným metalickým rozhraním Ethernet 1000Base-T. Dosahuje prenosovú rýchlosť 10/100/1000 Mb/s, cez optické vlákno sa pripája pomocou SC konektoru. LEDky na ľavej strane indikujú stav pripojenia k PON sieti a na pravej strane indikujú rýchlosť pripojenia ethernetového rozhrania smerom k užívateľovi. Na obrázku 12 je vidieť schému zapojenia P2MP siete, ktorú som zrealizoval cez EPON a nakonfiguroval OLT.

8.4.1 Konfigurácia siete GePON

Pomocou príkazu `show interface` som skontroloval prítomnosť karty EPON a jej číselné označenie portov. Ďalej som si overil na karte EPON2 port v ktorom mám pripojené ONU jednotky cez optický pasívny rozbočovač.

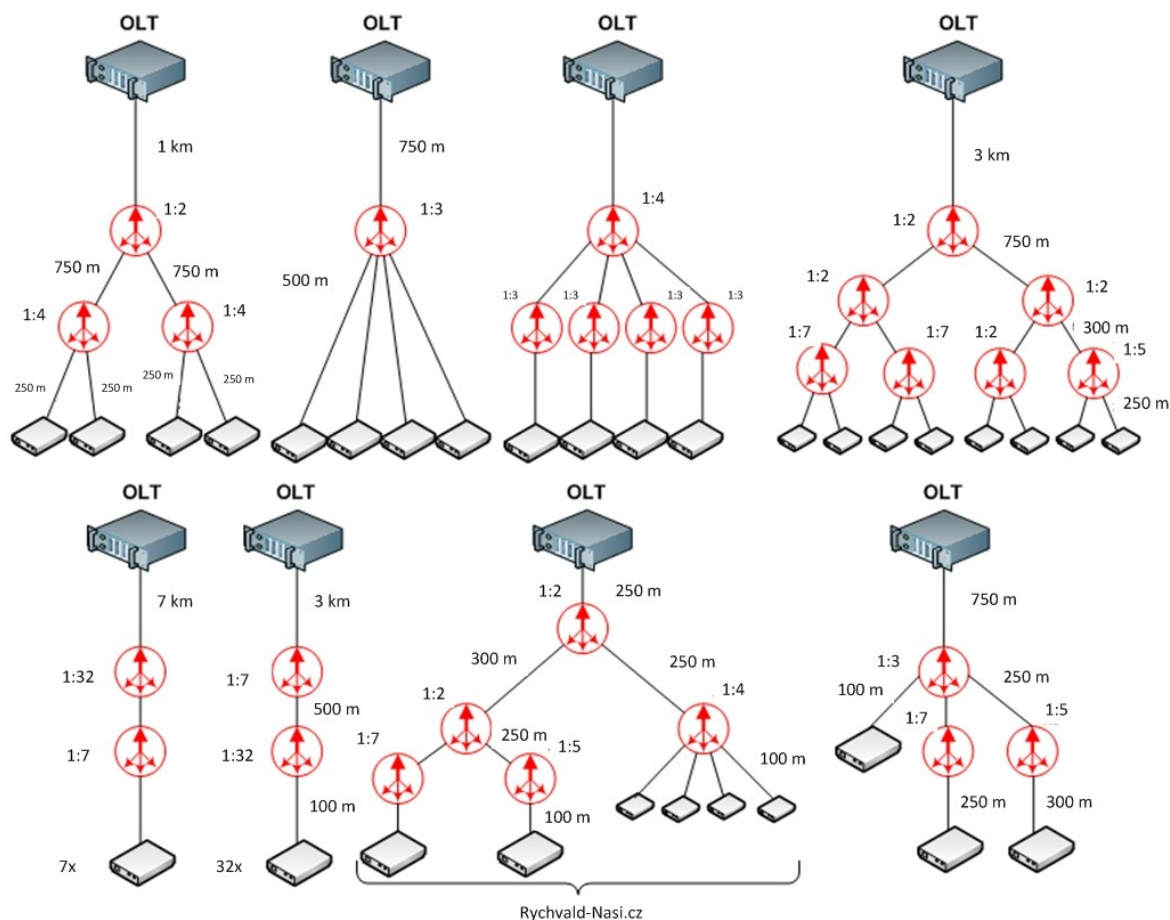
Koncové jednotky ONU treba v OLT zariadení vytvoriť a identifikovať podľa MAC adresy príkazom:

```
create onu <meno jednotky ONU - ľubovoľné> onuid=<číslo jednotky ONU - ľubovoľné v rozsahu 0-31> interface=<označenie rozhrania EPON> mac=<MAC adresa jednotky ONU> type=<označenie typ jednotky>
```

pri zadávaní type máme na výber z dvoch údajov tk3711 (iMG646PX-ON) a tk3713 (AT-ON1000). Správnosť vytvorenia ONU jednotiek som si overil príkazom `show interface <meno jednotky/onuid>` hodnoty *State* musia byť *UP-UP*.

8.5 Meranie parametrov v GePON topológiach

Po nakonfigurovaní EPON siete som meral parametre na rôznych topológiach ktoré som chcel získať od poskytovateľov optickej prístupovej siete. Oslovil som niekoľko firiem ktoré by boli schopné poskytnúť svoje topológie optickej prístupovej siete. Žiaľ nechceli poskytnúť žiadne informácie ohľadom svojej optickej prístupovej siete z bezpečnostných dôvodov. Jedna firma poskytla menšie informácie ale mali svoju optickú prístupovú sieť riešenú pomocou aktívnych prvkov, ktoré boli za sebou vo veľmi krátkych vzdialenostiach. Firma Naši poskytla schopnejšie údaje k realizácii optickej prístupovej siete založenej na princípe technológie P2P, ktorú som upravil na PON. Ďalšie informácie som získal od spoločnosti Slovak Telekom, ktorá mi poskytla písomne informácie ohľadom svojich optických prístupových sieťach. Tieto informácie sú podľa normy G.984.1 až G.984.5. Po naštudovaní týchto noriem som nakreslil ďalšie topológie znázornené na obrázku 19.



Obr. 18: Topológie použité pri meraní.

Pri každej topológii som meral útlm tras od OLT k ONU jednotke, ktorý sa pohyboval okolo 23,5 dB, maximálny útlm u optickej prístupovej siete je 34,5 dB. Tieto topológie správne fungujú majú menší útlm ako 34,5 dB. Potom som začal vkladať do trasy útlmové články pre zvýšenie útlmu v sieti pre overenie či prestane OLT s ONU jednotkou komunikovať. Keď som nameral hodnoty útlmu trasy 37,36dB na vlnovej dĺžke 1550 nm ONU jednotka nekomunikovala s OLT.

8.6 Meranie kvality IPTV pomocou analyzátoru IxChariot

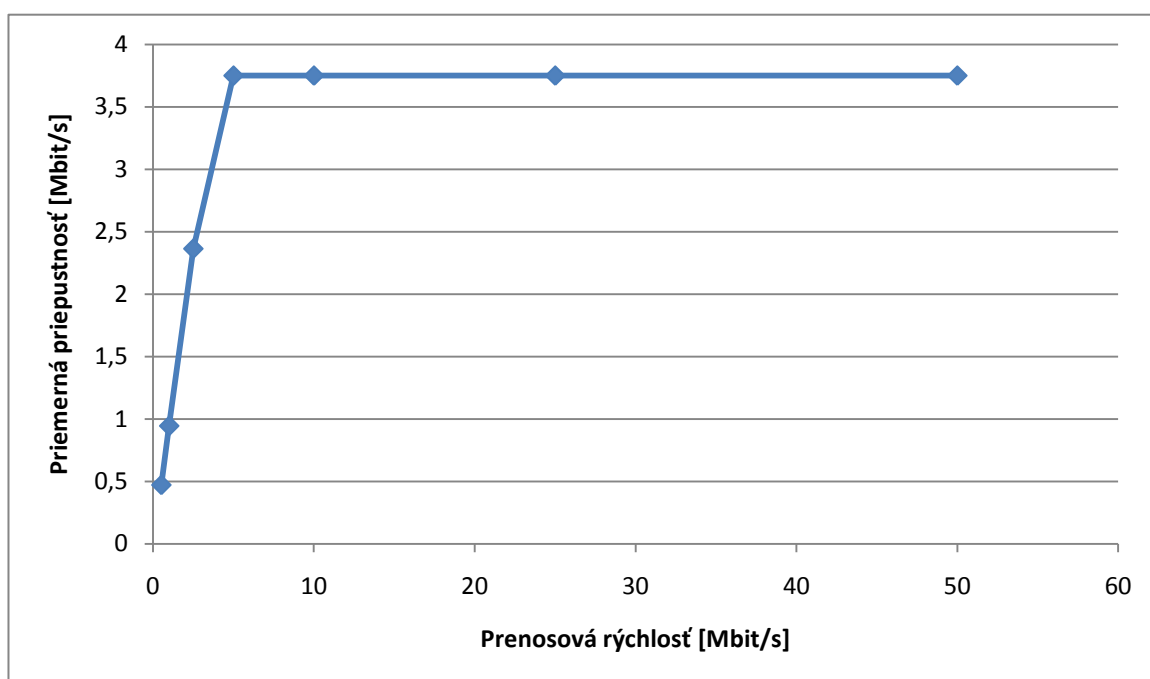
IxChariot je testovací nástroj pre simuláciu reálnych aplikácií. Vie predvídať a zaťažovať systém podľa realistických podmienok. IxChariot poskytuje možnosť posúdiť výkonové charakteristiky akejkoľvek aplikácie bežiacej na káblovej alebo bezdrôtovej sieti. Podporuje protokoly TCP, UDP, RTP, IPX, SPX, IPv4, IPv6, VoIP (G.711, G.723, G.726, G.729) simuluje aplikácie ako napr. Telnet, SMTP, FTP, ICQ atď.

Meranie bolo zamerané na vplyv QoS na kvalitu IPTV služby v rámci Triple Play. Na meranie som použil topológiu, ktorá je znázornená na obrázku 20. Topológia bola navrhnutá tak, aby sa podobala reálu a podľa štandardu. Na topológii som urobil 7 meraní pri ktorých som nastavoval QoS na OLT zariadení. Stručný prehľad nameraných hodnôt z IxChariota sú uvedené v tabuľke 10.

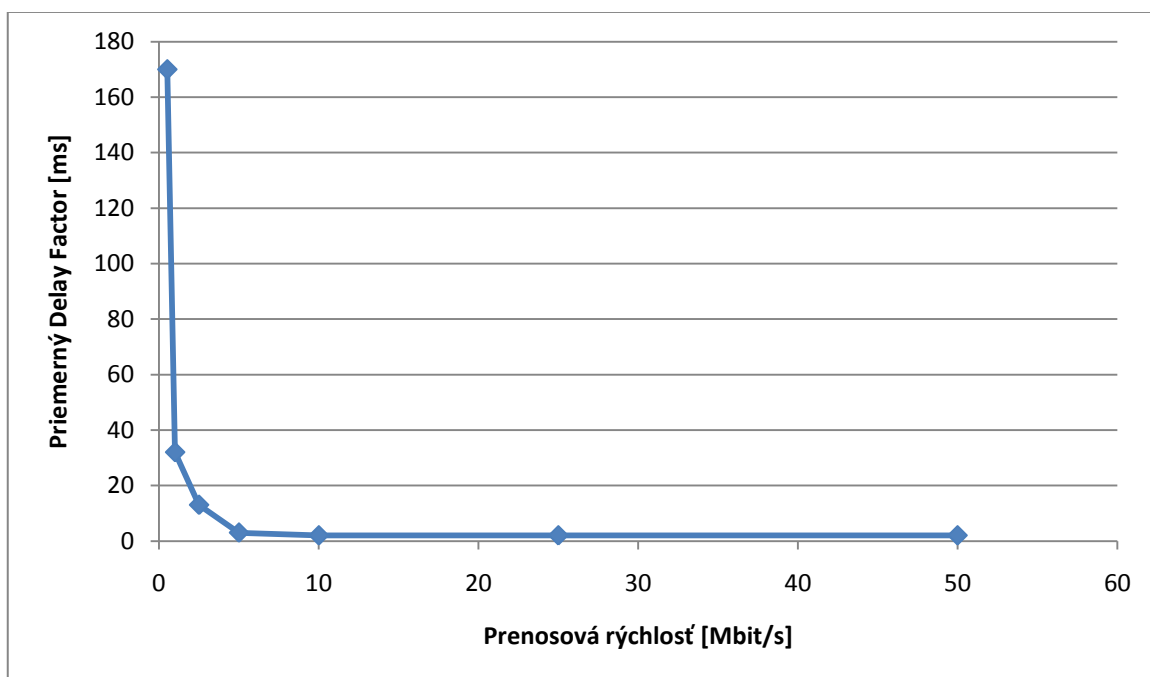
Tab. 10: Výsledky merania vplyvu QoS na kvalitu IPTV.

Číslo merania	Prenos digitálnej televízie					
	Rýchlosť prenosu	Priemerná priepustnosť	Priemerný Delay Factor	Priem. MLR [media frame/s]	Priemerný jitter	Stratovosť paketov
1	50 Mbit/s	3,749Mbit/s	2ms	0	0ms	0,00%
2	25 Mbit/s	3,749Mbit/s	2ms	0	0ms	0,00%
3	10 Mbit/s	3,749Mbit/s	2ms	0	0ms	0,00%
4	5 Mbit/s	3,749Mbit/s	3ms	0	0ms	0,00%
5	2,5 Mbit/s	2,363Mbit/s	13ms	920,752	0,719ms	36,92%
6	1 Mbit/s	0,944Mbit/s	32ms	1 861,241	0,308ms	74,76%
7	512 kbit/s	0,471Mbit/s	170ms	2 166,683	1ms	87,33%

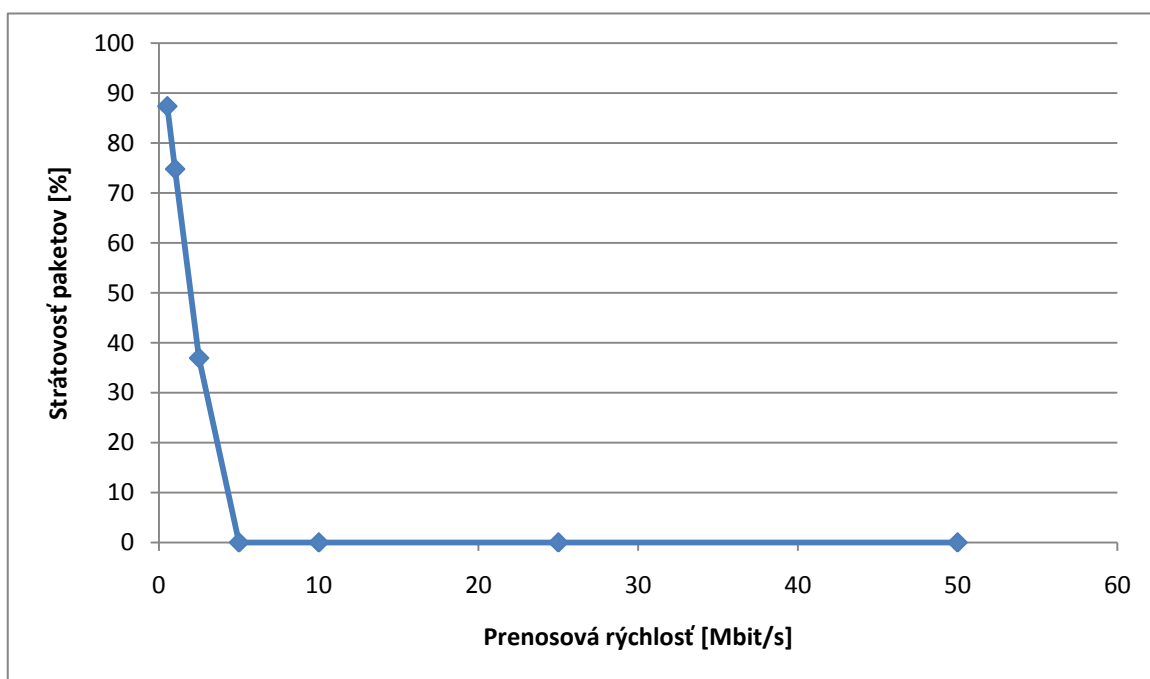
V tabuľke vidíme namerané hodnoty pri jednotlivých prenosových rýchlostiach. Pri prenosových rýchlostiach 5 Mbit/s a vyššie, nedochádza k žiadnym stratám paketov. Horšie je to s hodnotami pri meraní prenosových rýchlosti 2,5 Mbit/s a nižšie. Vidíme, že sa nám zväčšilo priemerné DF a priemerný počet stratených paketov. Nasledujúce grafy zobrazujú ako hodnoty Delay Factor a hodnoty MLR stúpajú pri znižovaní prenosovej rýchlosti.



Obr. 20: Graf priemernej priepustnosti IPTV.



Obr. 21: Graf priemerného Delay Factoru v IPTV.

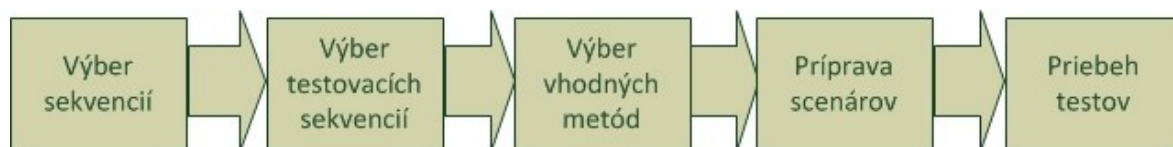


Obr. 22: Graf strátovosti paketov na kvalite IPTV.

Z nameraných hodnôt vieme povedať že kvalita IPTV služby je závislá na prenosovej rýchlosti aby nedochádzalo k strate alebo oneskoreniu paketov. Dostačujúca rýchlosť pre prenos IPTV služby je 5Mbit/s.

8.7 Objektívne meranie kvality obrazu a video signálu

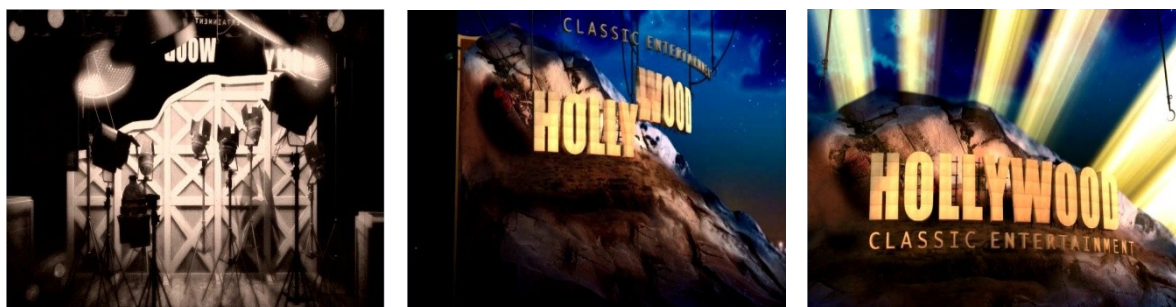
Meranie objektívnej kvality videosekvencií sa skladá z piatich častí zobrazených na obrázku 24. Všetké namerané hodnoty



Obr. 23: Postupnosť pri meraní objektívnej kvality.

8.7.1 Výber video sekvencie

Prvým krokom bolo vybrať vhodnú video sekvenciu, na ktorom sa bude meranie realizovať. Na obrázku 25 je uvedená video sekvencia, ktorá je spracovaná cez počítač v digitálnej podobe. Ide o video pri, ktorom sa postupne pridávajú farby pri rôznych pohyboch objektov. Dĺžka sekvencie je približne 20 sekúnd, čo predstavuje optimálny čas pre načítanie videa počas streamovania. V tabuľke 11 sú uvedené parametre vybranej testovacej video sekvencie.



Obr. 24: Testovacia video sekvencia.

Tab. 11: Parametre testovacej video sekvencie.

Testovacie video	
Formát	VOB
Rozlíšenie	720x576 pixelov
Pomer strán	4:3
Trvanie	19 sekúnd
Počet snímkov za sekundu	25 fps
Video typ	PAL
Audio formát	AC3
Prenosová rýchlosť	4,271 Mbit/s

8.7.2 Tvorba testovacej sekvencie a výber metód

Video sekvenciu som testoval na topológii znázornenej na obrázku 12. Konfigurácií tejto siete som venoval v kapitole 7. V tomto kroku sa venujem prenosu testovacieho videa od servera

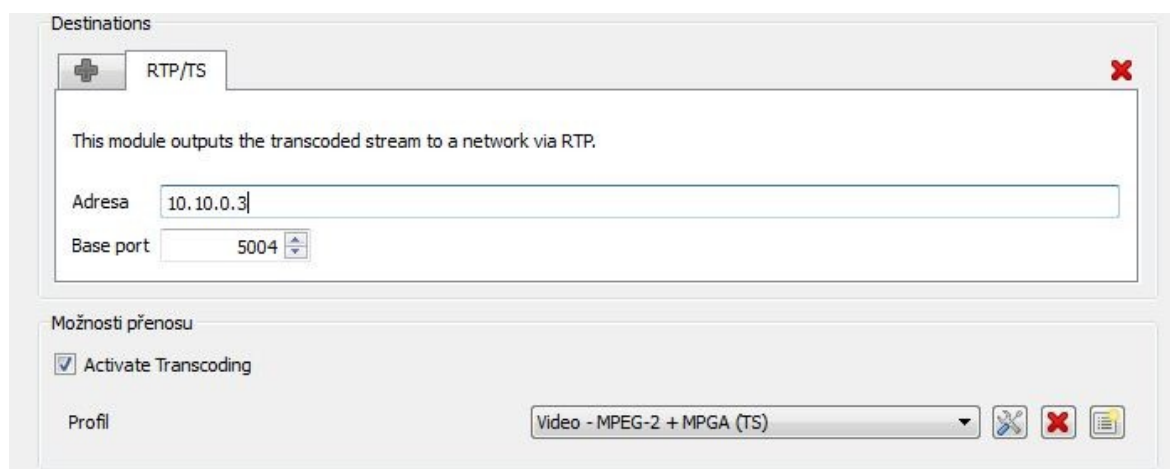
k užívateľovi cez unicast. Počas ktorého boli znižované hodnoty QoS na OLT zariadení. Hodnoty QoS, ktoré som použil na meranie subjektívnej kvality obrazu a video signálu sú 5 Mbit/s, 4 Mbit/s, 3 Mbit/s, 2,5 Mbit/s a 1 Mbit/s. Na realizáciu prenosu testovacieho videa som použil program VLC media player 1.1.9, ktorý bol nainštalovaný na servery a na meranie kvality obrazu a video signálu objektívnou metódou, program MSU Video Quality Measurement Tool. Tento program je voľne šíriteľný a podporuje množstvo metód pre vypočítanie kvality obrazu a video signálu ako metódy PSNR a SSIM, ktoré boli vybrané pre vytvorenie testovacích scén.

PSNR je pomer medzi maximálnym možným výkonom signálu a hlukom, ktorý ovplyvňuje dáta. Zvyčajne sa PSNR vyjadruje v decibeloch. Typické hodnoty pre PSNR v stratovej kompresii sú medzi 30 až 50 dB, pričom vyššia hodnota je lepšia.

SSIM index vyjadruje podobnosť obrázkov, jedná sa o metódu porovnávania. Tento index nadobúda hodnoty -1 až 1, kde 1 vyjadruje zhodné obrázky.

8.7.3 Postup objektívneho merania

Ako prvé som vytvoril vlc server z ktorého streamujem testovacie video cez unicast jednému užívateľovi. Video je skonvertované do stratovej kompresie MPEG-2, prenášané cez RTP protokol a smeruje k užívateľovi s IP adresou 10.10.0.3 na porte 5004 ako je znázornené na obrázku 26.



Obr. 25: Nastavenie streamovanie na vlc servery.




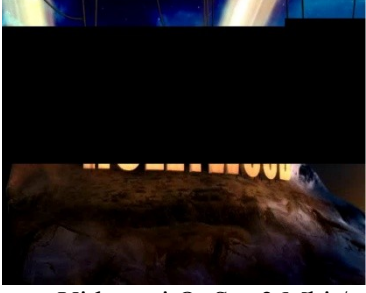

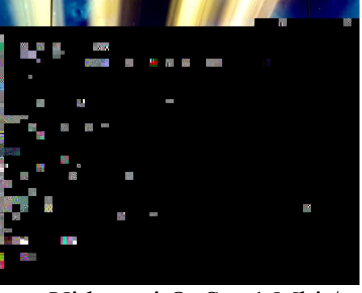
Na strane užívateľa je vlc media player nastavený na príjem streamovaného testovacieho videa. Pri každom streamovaní testovacieho videa, znižujem hodnoty prenosovej rýchlosti a následne ukladám prijaté video na disk, vo formáte MPG.

8.7.4 Vyhodnotenie nameraných výsledkov

Uložené videa porovnávam s originálnym testovacím videom pomocou programu MSU Video Quality Measurement Tool. Meranie som opakoval na všetky videa. Hodnoty z objektívneho merania kvality obrazu a video signálu metódami SSIM a PSNR sú uvedené v nasledujúcej

tabuľke. Výsledky sú uložené na CD v zložke /Výsledky merania IPTV/ Objektívne meranie. Hodnoty sú v súbor excel. Obrázky porovnávacích videí a uložené videá pri streamovaní sú uložené v zložke /Výsledky merania IPTV/ Objektívne meranie/ videa a obrázky.

Tab. 12: Parametre merania SSIM a PSNR.

 <p>Originál video SSIM PSNR</p>	 <p>Video pri QoS = 5 Mbit/s SSIM = 0.55662 PSNR = 21.47145</p>	 <p>Video pri QoS = 4 Mbit/s SSIM = 0.47049 PSNR = 12.68112 dB</p>
 <p>Video pri QoS = 3 Mbit/s SSIM = 0.30279 PSNR = 9.04690 dB</p>	 <p>Video pri QoS = 2,5 Mbit/s SSIM = 0.32902 PSNR = 8.94288 dB</p>	 <p>Video pri QoS = 1 Mbit/s SSIM = 0.22254 PSNR = 8.31943 dB</p>

Z nasledujúcich nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že pri znižovaní prenosovej rýchlosti klesajú hodnoty objektívnych metód. Pri obmedzení prenosovej rýchlosti pod štandard, ako je uvedené v tabuľke 11, objektívne metódy vykazujú nižšiu kvalitu obrazu a video signálu. Pričom ja som si nevšimol veľký rozdiel v kvalite. Hodnoty SSIM predstavujú približnú realitu kvality obrazu ale hodnoty PSNR nespĺňajú podmienky pre typické hodnoty. Možná príčina sa mohla stať pri porovnávaní videí, kde sa nastavoval zvuk u uloženého videa, čiže nesynchronny obraz so zvukom.

9 ZÁVER

Bakalárska práca bola venovaná problematike služby IPTV v rámci služby Triple play v pasívnych optických prístupových sieťach. V dnešnej dobe veľa operátorov poskytuje službu Triple play optickými prístupovými sieťami pre zákazníkov. Preto sa bolo treba zamerať či je optická prístupová sieť dostačujúca pre kvalitu služby IPTV. Táto práca je zameraná na meranie kvality služby IPTV pomocou analyzátora IxChariot a objektívnou metódou kvality obrazu a video signálu. Bakalárska práca je rozdelená do dvoch častí teoretická a praktická.

V teoretickej časti sa venujem optickým prístupovým sieťam. Vysvetľujem jej základne časti a rozdelenie do jednotlivých kategórií. Základne časti optickej prístupovej siete sú komponenty, ktoré sa používajú na skonštruovanie optickej prístupovej siete a sú stanovené podľa štandardov. Optické prístupové siete sú delené do viacerých kategórií podľa toho kde je optické vlákno ukončené a akým spôsobom sa k zákazníkovi dostáva.

U Triple-play popisujem jednotlivé služby ktoré môžu operátory poskytovať pre zákazníkov. IPTV služby sa venujú podrobnejšie, popisujem aké protokoly a kodeky používa na prenos. Dnes operátory poskytujú tri služby ale onedlho sa môže rozrásť na štyri služby. U takýchto službách závisí aj na kvalite, preto v ďalšej časti bakalárskej práce popisujem subjektívne a objektívne metódy merania kvality obrazu a video signálu.

Praktická časť je venovaná konfigurácií optickej prístupovej siete, prenosu video signálu a meraniu kvality služby IPTV. Uvedený postup konfigurácie optickej prístupovej siete sa realizoval na OLT zariadení. Vytvoril som topológie podľa noriem, na ktorých som robil meranie. Toto meranie bolo zamerané na vyhládanie hraničného útlmu, kedy prestane OLT s ONU jednotkou komunikovať. Ďalšie meranie bolo zamerané na kvalitu služby IPTV na jednej topológii, ktorú som si pripravil. Meranie som vykonal pomocou analyzátora IxChariot, ktorý mi simuloval službu IPTV. Na topológii som pomocou OLT znižoval prenosové rýchlosti a namerané hodnoty z IxChariota porovnával. Prenos video signálu bol zameraný na streamovanie videa cez vlc server. Opisujem postup streamovania video súboru užívateľovi cez unicast. Video je prenášané na rôznych prenosových rýchlostiach cez RTP protokol a skomprimované do MPEG-2 kódeku. Na strane príjemcu sa video ukladá do formátu MPG. Ďalšou časťou praktickej časti bolo meranie kvality obrazu a video signálu, kde som porovnával uložené videa s originálnym videom, ktoré som streamoval. Porovnával som ich cez program MSU Video Quality, ktorý podporoval metódy PSNR a SSIM objektívneho merania kvality obrazu a video signálu.

Z meraní, ktoré som urobil som zistil, že kvality služieb sú závislé na prenosovej rýchlosti. Pri menšej prenosovej rýchlosti dochádza k strate paketov, k zmene poradia paketov a tým aj k zhoršeniu kvality služby. Pre IPTV službu stačí prenosová rýchlosť 4 Mbit/s. Z ďalšieho merania objektívnymi metódami PSNR a SSIM vyplynulo, že streamované video je závislé na prenosovej rýchlosti. Čím väčšiu kvalitu videa streamujeme, tým väčšiu šírku pásma potrebujeme. Ak prenosová rýchlosť je menšia ako štandardná prenosová rýchlosť videa, začne nám dochádzať k strate paketov a tým k znehodnoteniu kvality video signálu a obrazu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Fluke Networks [online]. 2006-2011 [cit. 2011-05-04]. OM1, OM2, OM3, OM4 and OS1, OS2 Fiber. Dostupné z WWW: <<http://myaccount.flukenetworks.com/fnet/en-us/supportAndDownloads /KB/Fiber-Testing/DTX-xFM+Fiber+Adapters/ OM1+OM2+OM3 +OM4+ and +OS1+OS2+Fibre>>.
- [2] HENS, Francisco; M. CABALLERO, Jose'. TRIPLE PLAY Building the Converged Network for IP, VoIP and IPTV. [s.l.] : John Wiley & Sons Ltd, 2008. 417 s.
- [3] HLAVÁČEK J., BEŠŤÁK R.. Access.feld.cvut.cz [online]. 21. 01. 2010 [cit. 2011-05-05]. Aktuální problémy řízení kvality služeb v IP telefonii. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010010003>>.
- [4] Jednovidová optická vlákna se sníženou citlivostí na ohyby [online]. Čtvrtek, 20 Březen 2008 12:06 [cit. 2011-05-04]. Ofacom. Dostupné z WWW: <http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=149:vlakna-podle-itu-t-g657&catid=80:ofs-v-Itemid=96>.
- [5] KAZOVSKY G., LEONID, et al. BROADBAND OPTICAL ACCESS NETWORKS. [s.l.] : A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2011. 301 s.
- [6] KEISER, Gerd. FTTX Concepts and Applications. [s.l.] : PhotonicsComm Solutions, Inc., 2006. 313 s.
- [7] LAFATA P., Access.feld.cvut.cz [online]. 23. 05. 2009 [cit. 2011-05-04]. Pasivní optická přístupová síť EPON. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>>.
- [8] OPTICKÉ KONEKTORY [online]. [s.l.] : Kemt.fei.tuke.sk, 2010 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <http://www.kemt.fei.tuke.sk/predmety/PristupoveSiete/_materialy/PrS_zadania0910/OptKonekt_Tomasko.pdf>.
- [9] Optické siete FTTx [online]. [s.l.] : Tel Temp, 2007 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <http://www.teltemp.sk/svk/ELOSYS_2007_FTTH.pdf>.
- [10] PERKINS, Colin . RTP: Audio and Video for the Internet. [s.l.] : [s.n.], June 12, 2003. 432 s.
- [11] Sk.wikipedia.org [online]. 3. apríl 2011 [cit. 2011-05-05]. Kvalita služby. Dostupné z WWW: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Kvalita_sluzby>.
- [12] Standard ITU-T G.652 [online]. TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU : [s.n.], 2009 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?id=10389>>.

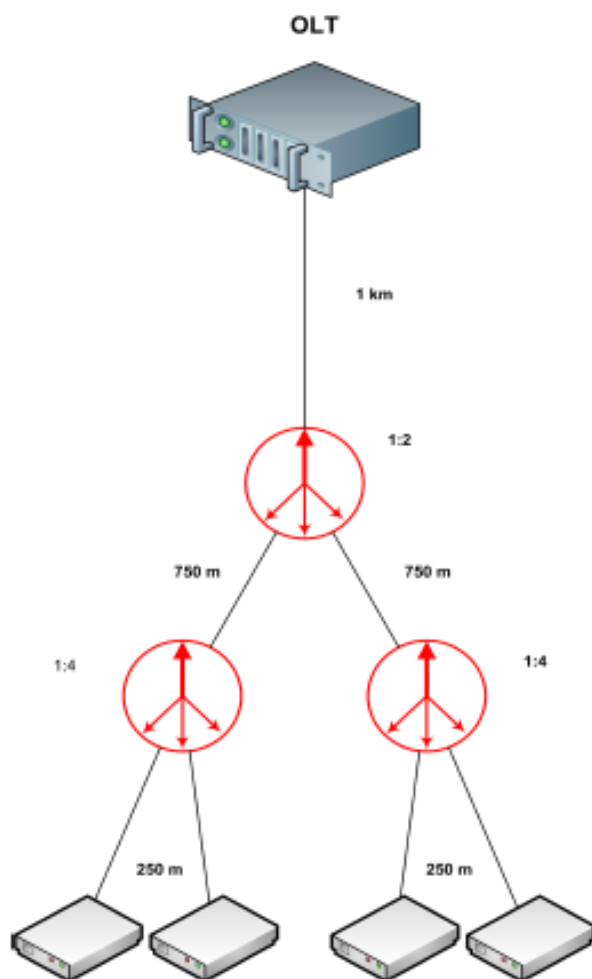
- [13] Standard ITU-T G.655 [online]. TELECOMMUNICATION TANDARDIZATION SECTOR OF ITU : [s.n.], 2000-2009 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=G.655>>.
- [14] Standard ITU-T G.656 [online]. TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU : [s.n.], 2004, 2006, 2010 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=G.656>>.
- [15] Standard ITU-T G.657 [online]. TELECOMMUNICATION TANDARDIZATION SECTOR OF ITU : [s.n.], 2006/12 2009/11 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=G.657>>.
- [16] Standard ITU-T G.694.2 [online]. [s.l.] : Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), 12/2003 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-I/en>>.
- [17] Standard ITU-T G.983, G.984 [online]. Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) : [s.n.], 2005-2008 [cit. 2011-05-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/PON/ITU/>>.
- [18] ŠIMÍČEK, Pavel. PROGRAM PRO HODNOCENÍ KVALITY OBRAZU. [s.l.], 2008. 51 s. Diplomová práce. BRNO.
- [19] ZEMAN T., KREJČÍ J. ., Access.feld.cvut.cz [online]. 27. 05. 2010 [cit. 2011-05-05]. Hodnocení kvality IPTV. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010050004>>.
- [20] ZEMAN T., KREJČÍ J.. Access.feld.cvut.cz [online]. 10. 12. 2008 [cit. 2011-05-05]. Úvod do IPTV. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2008100002>>.

ZOZNAM PRÍLOH

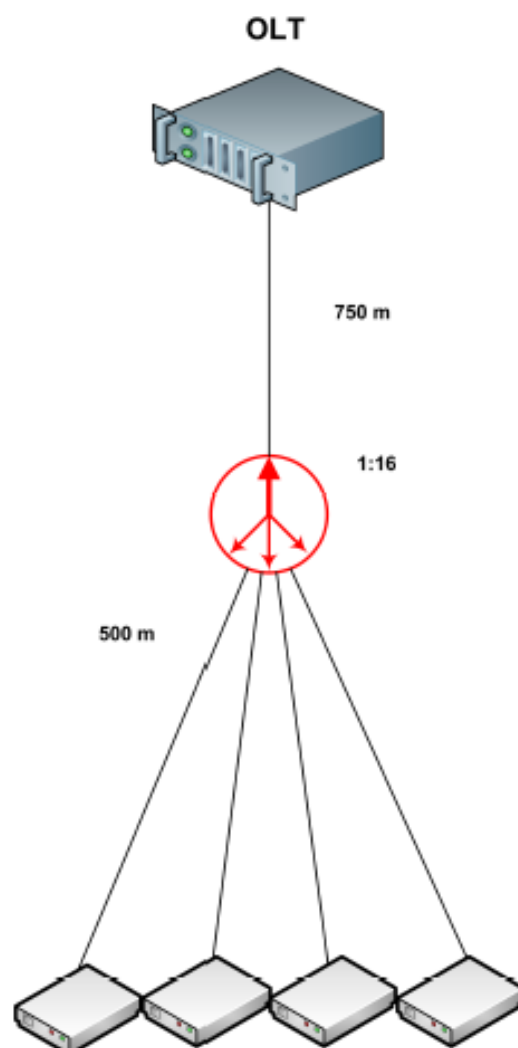
- Príloha 1: Topológie optických prístupových sietí použitých pri meraní
- Príloha 2: Výsledky merania vplyvu QoS na kvalitu IPTV analyzátorom IxChariot
- Príloha 3: Obrázky z videí pri porovnávaní objektívnou metódou

Príloha 1: Topológie optických prístupových sietí použitých pri meraní

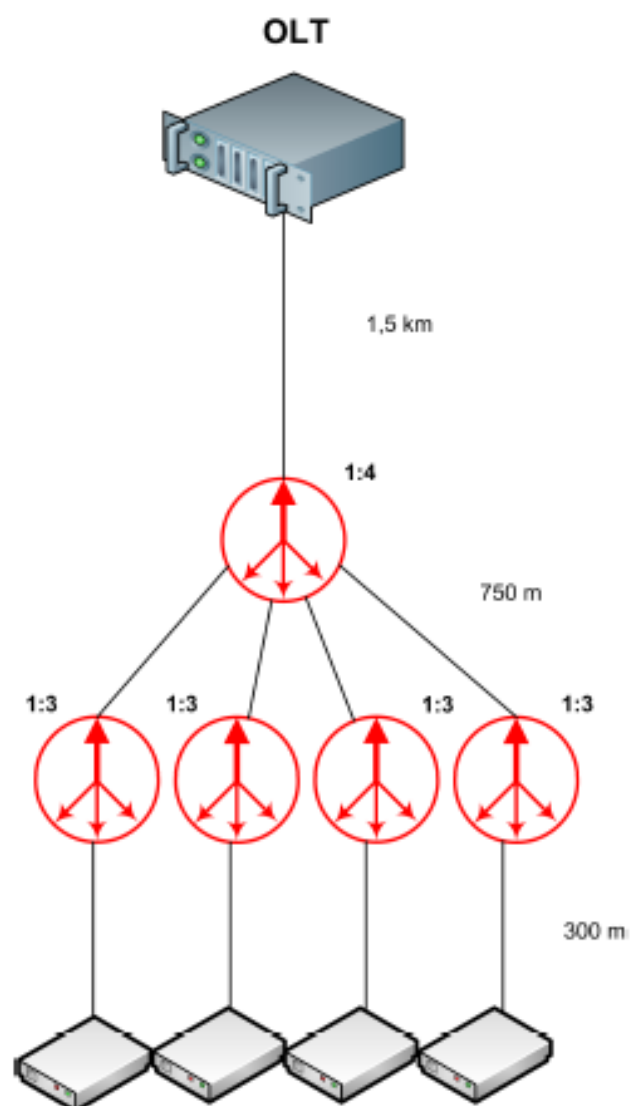
Topológia č. 1:



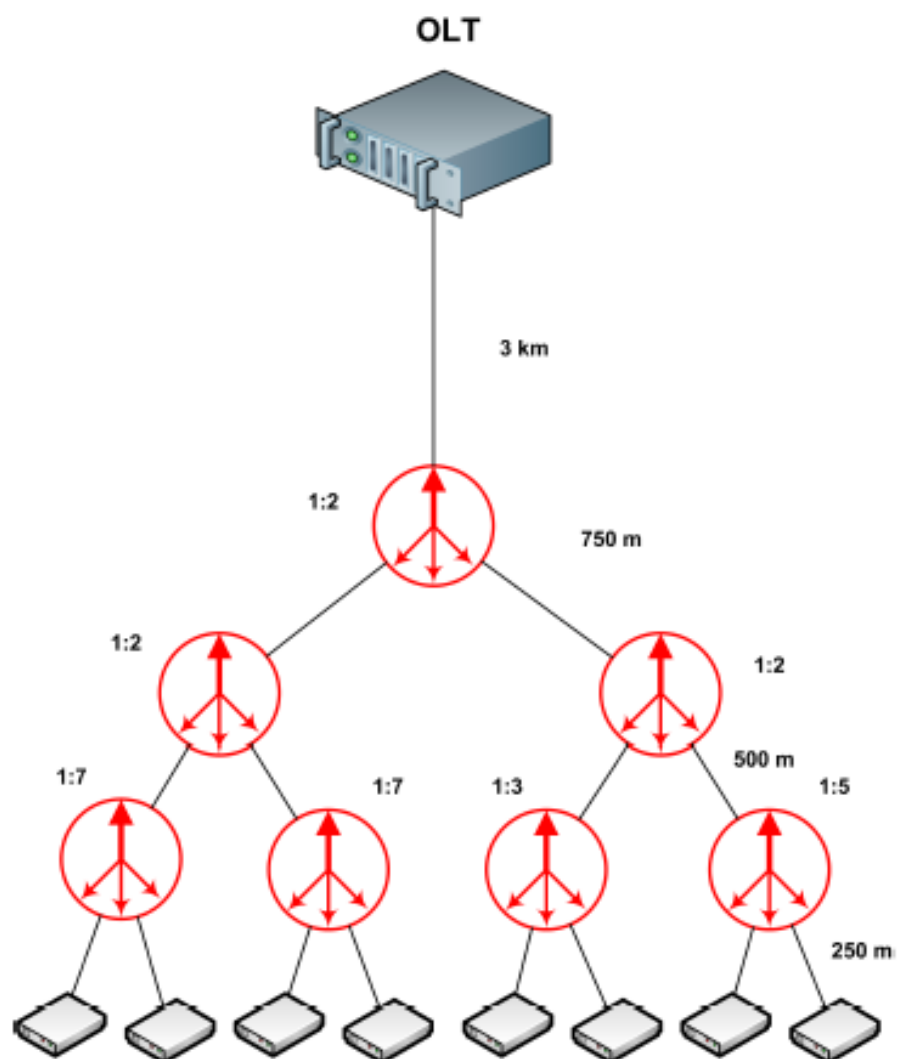
Topológia č. 2:



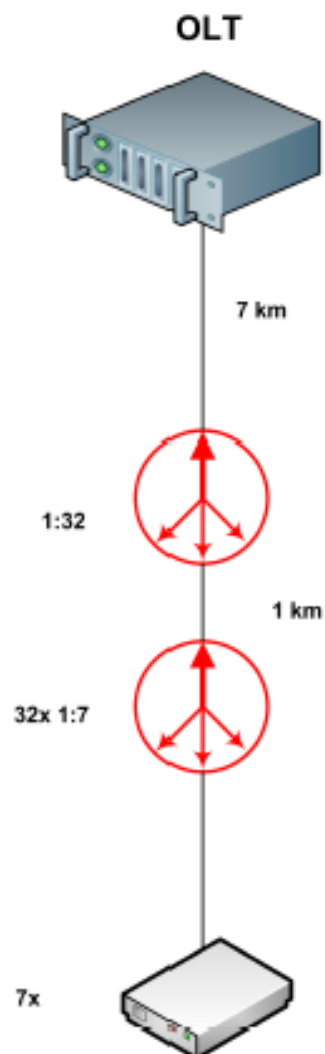
Topológia č. 3:



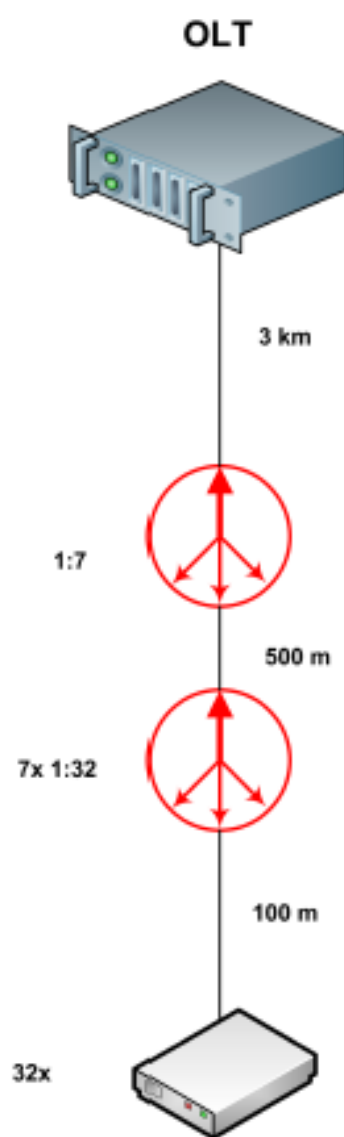
Topológia č. 4:



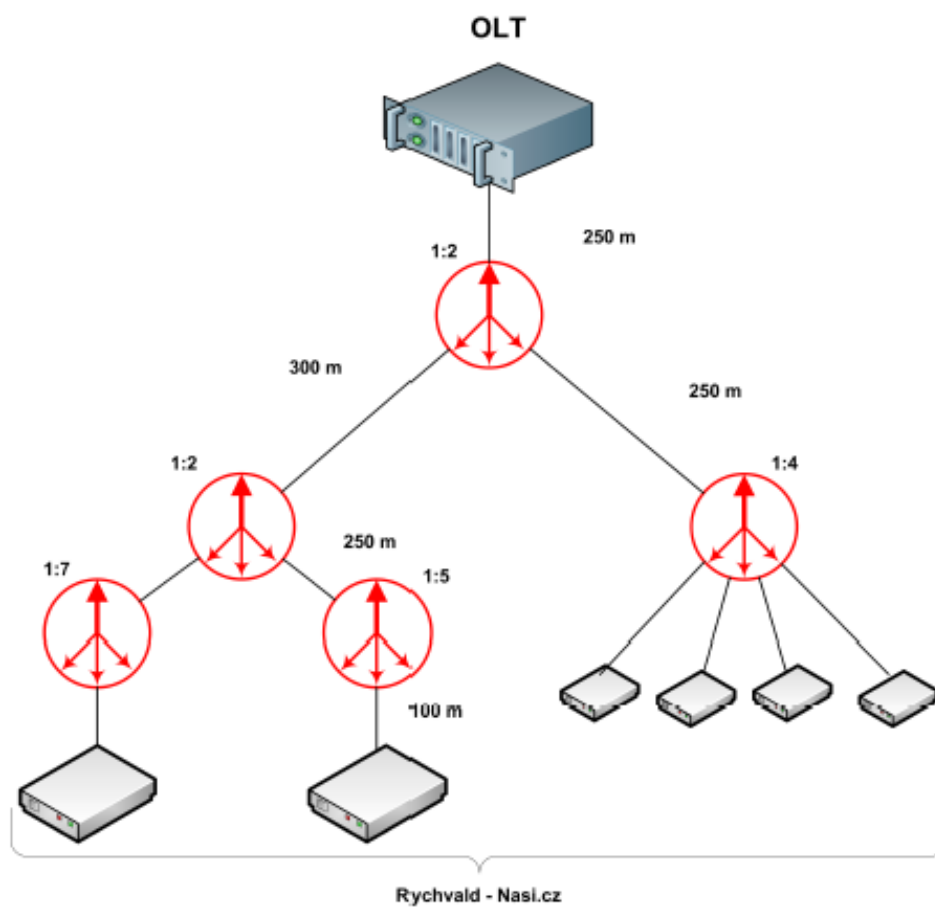
Topológia č. 5:



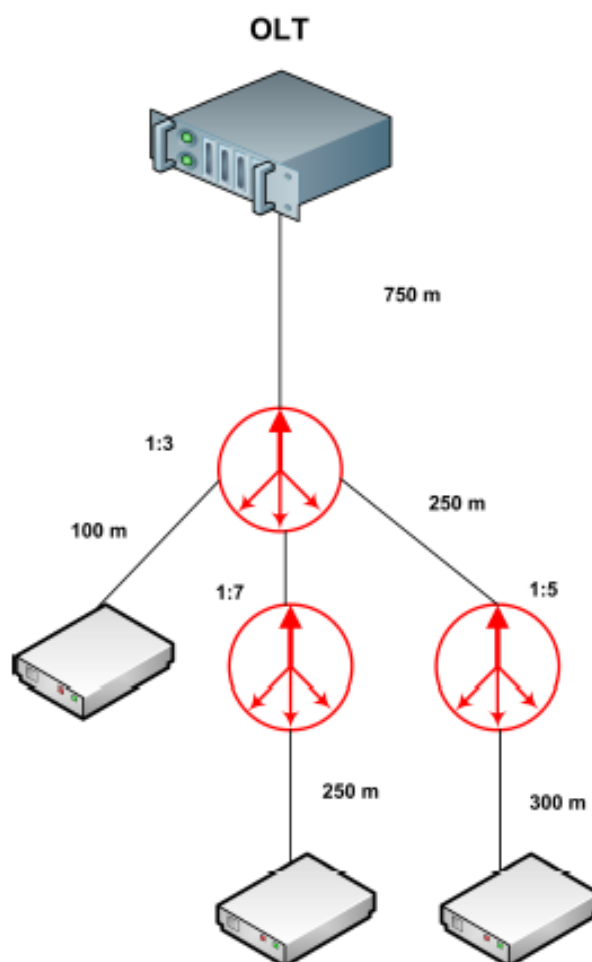
Topológia č. 6:



Topológia č. 7:



Topológia č. 8:

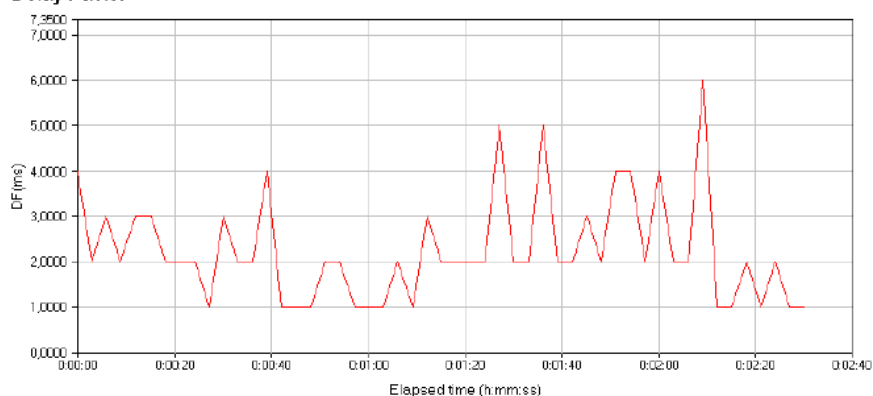


Príloha 2: Výsledky merania vplyvu QoS na kvalitu IPTV analyzátorom IxChariot

QoS 50 Mbit/s:

Group/ Pair	Maximum MDI Maximum DF : Maximum MLR	Average DF (ms)	Minimum DF (ms)	Maximum DF (ms)	Average MLR (media frames/s)	Minimum MLR (media frames/s)	Maximum MLR (media frames/s)	95% Confidence Interval (DF)	95% Confidence Interval (MLR)	Clock Used
All Pairs	6 : 0,000	2	1	6	0,000	0,000	0,000			
Pair 1	6 : 0,000	2	1	6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Endpoint synchronization
Totals:	6 : 0,000	2	1	6	0,000	0,000	0,000			

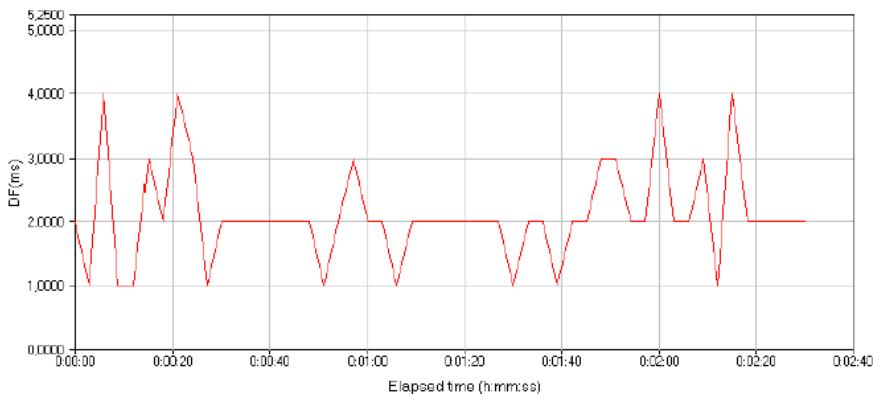
Delay Factor



QoS 25 Mbit/s:

Group/ Pair	Maximum MDI Maximum DF : Maximum MLR	Average DF (ms)	Minimum DF (ms)	Maximum DF (ms)	Average MLR (media frames/s)	Minimum MLR (media frames/s)	Maximum MLR (media frames/s)	95% Confidence Interval (DF)	95% Confidence Interval (MLR)	Clock Used
All Pairs	4 : 0,000	2	1	4	0,000	0,000	0,000			
Pair 1	4 : 0,000	2	1	4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Endpoint synchronization
Totals:	4 : 0,000	2	1	4	0,000	0,000	0,000			

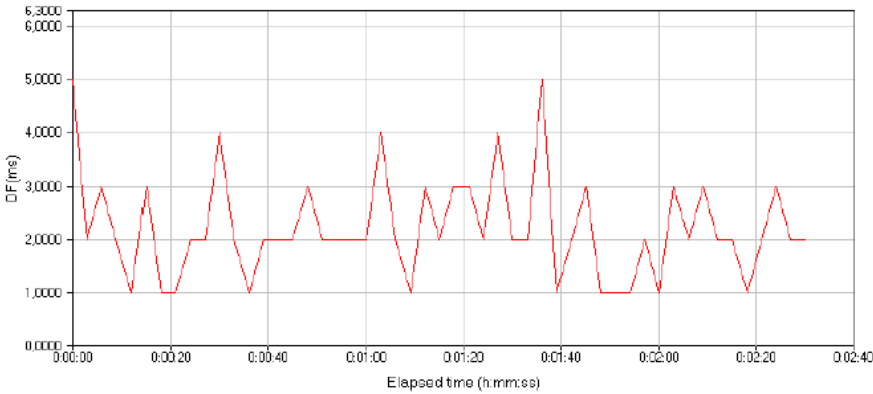
Delay Factor



QoS 10 Mbit/s:

Group/ Pair	Maximum MDI Maximum DF :	Average DF (ms)	Minimum DF (ms)	Maximum DF (ms)	Average MLR (media frames/s)	Minimum MLR (media frames/s)	Maximum MLR (media frames/s)	95% Confidence Interval (DF)	95% Confidence Interval (MLR)	Clock Used
	Maximum MLR									
All Pairs	5 : 0,000	2	1	5	0,000	0,000	0,000			
Pair 1	5 : 0,000	2	1	5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Endpoint synchronization
Totals:	5 : 0,000	2	1	5	0,000	0,000	0,000			

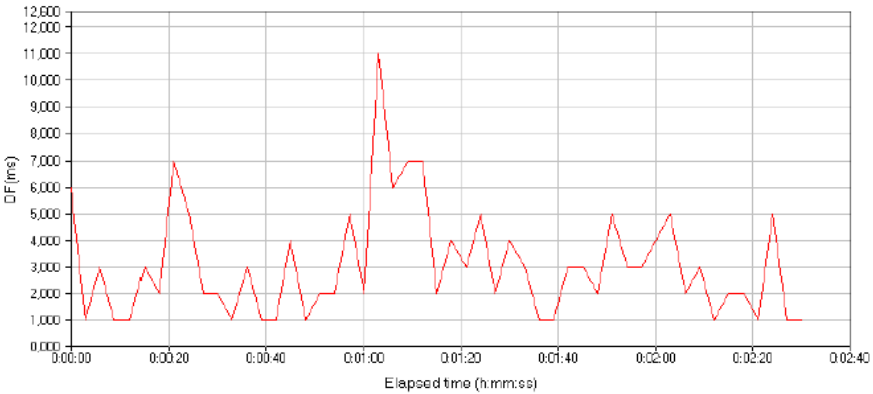
Delay Factor



QoS 5 Mbit/s:

Group/ Pair	Maximum MDI Maximum DF :	Average DF (ms)	Minimum DF (ms)	Maximum DF (ms)	Average MLR (media frames/s)	Minimum MLR (media frames/s)	Maximum MLR (media frames/s)	95% Confidence Interval (DF)	95% Confidence Interval (MLR)	Clock Used
	Maximum MLR									
All Pairs	11 : 0,000	3	1	11	0,000	0,000	0,000			
Pair 1	11 : 0,000	3	1	11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Endpoint synchronization
Totals:	11 : 0,000	3	1	11	0,000	0,000	0,000			

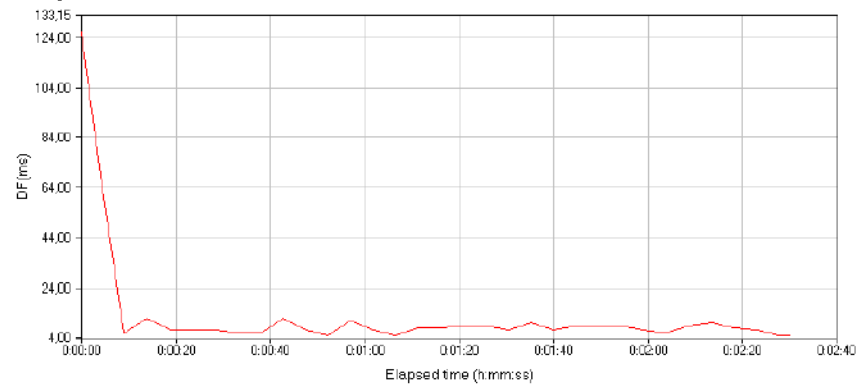
Delay Factor



QoS 2,5 Mbit/s:

Group/ Pair	Maximum MDI Maximum DF : Maximum MLR	Average DF (ms)	Minimum DF (ms)	Maximum DF (ms)	Average MLR (media frames/s)	Minimum MLR (media frames/s)	Maximum MLR (media frames/s)	95% Confidence Interval (DF)	95% Confidence Interval (MLR)	Clock Used
All Pairs	126 : 1 034,924	13	5	126	920,752	650,135	1 034,924			
Pair 1	126 : 1 034,924	13	5	126	920,752	650,135	1 034,924	0,401	27,649	Endpoint synchronization
Totals:	126 : 1 034,924	13	5	126	920,752	650,135	1 034,924			

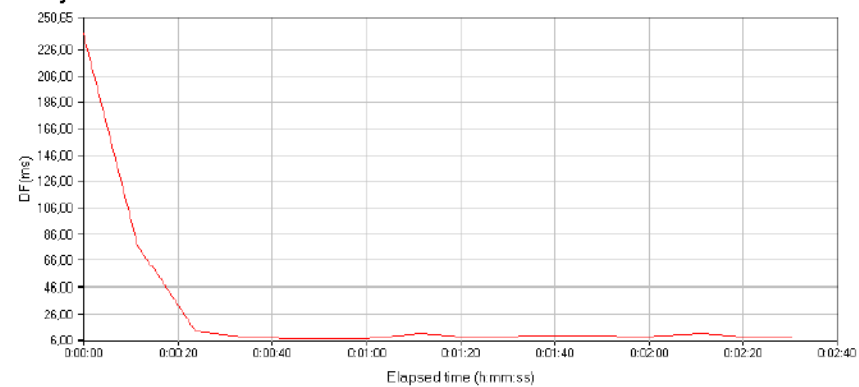
Delay Factor



QoS 1 Mbit/s:

Group/ Pair	Maximum MDI Maximum DF : Maximum MLR	Average DF (ms)	Minimum DF (ms)	Maximum DF (ms)	Average MLR (media frames/s)	Minimum MLR (media frames/s)	Maximum MLR (media frames/s)	95% Confidence Interval (DF)	95% Confidence Interval (MLR)	Clock Used
All Pairs	238 : 1 920,755	32	7	238	1 861,241	1 740,365	1 920,755			
Pair 1	238 : 1 920,755	32	7	238	1 861,241	1 740,365	1 920,755	2,094	121,522	Endpoint synchronization
Totals:	238 : 1 920,755	32	7	238	1 861,241	1 740,365	1 920,755			

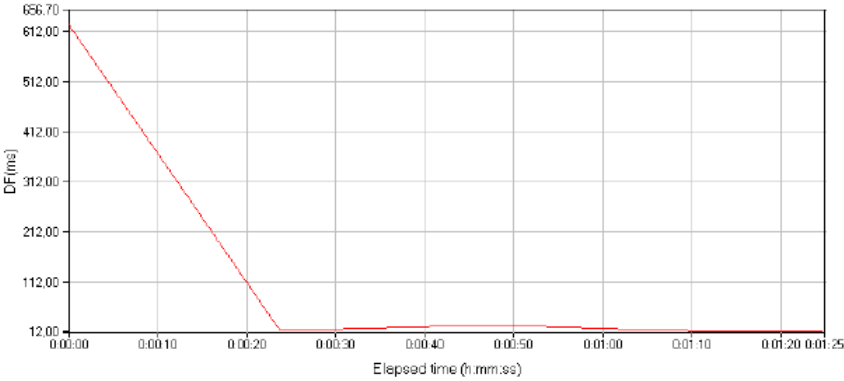
Delay Factor



QoS 512 kbit/s:

Group/ Pair	Maximum MDI Maximum DF : Maximum MLR	Average DF (ms)	Minimum DF (ms)	Maximum DF (ms)	Average MLR (media frames/s)	Minimum MLR (media frames/s)	Maximum MLR (media frames/s)	95% Confidence Interval (DF)	95% Confidence Interval (MLR)	Clock Used
All Pairs	625 : 2 213,703	170	13	625	2 166,683	2 093,172	2 213,703			
Pair 1	625 : 2 213,703	170	13	625	2 166,683	2 093,172	2 213,703	68,581	875,362	Endpoint synchronization
Totals:	625 : 2 213,703	170	13	625	2 166,683	2 093,172	2 213,703			

Delay Factor



Príloha 3: Obrázky pri porovnaní objektívnou metódou

Originál:



prieputnosť 5 Mbit/s:



priepustnosť 4 Mbit/s:



priepustnosť 3 Mbit/s:



priepustnosť 2,5 Mbit/s:



priepustnosť 1 Mbit/s:

